ISSN 1992-5980



ВЕСТНИК

ДОНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА



№ 7 (68)
2012

ВЕСТНИК
ДОНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
2012
№ 7 (68)

Теоретический
и научно-практический журнал

Рекомендован ВАК для публикаций основных научных результатов диссертаций на соискание учёных степеней доктора и кандидата наук (решение Президиума ВАК Минобрнауки России от 19 февраля 2010 года № 6/6)

Издаётся с 1999 г.

Выходит 8 раз в год
Октябрь — декабрь 2012 г.

***Учредитель* — Донской государственный технический университет**

Над номером работали: И. Н. Бойко, Б. А. Феденко, М. П. Смирнова (англ. версия)
Подписано в печать 27.12.2012.
Формат 60×84/8. Гарнитура Tahoma. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 20.8. Тираж 1000 экз. Заказ № 820. Цена свободная.
Адрес редакции:
344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, тел. (863) 2-738-565.
Адрес полиграфического предприятия:
344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, тел. (863) 2-738-741, 2-738-322.
http://vestnik.donstu.ru
Регистрационное свидетельство ПИ № ФС 77-35012 от 16.01.09.

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

VESTNIK of DON STATE TECHNICAL UNIVERSITY 2012

№ 7 (68)

Theoretical and scientific-practical journal

Recommended by the State Commission for Academic Degrees and Titles for publications of the thesis research results for Doctor's and Candidate Degree (the solution of the Presidium of the State Commission for Academic Degrees and Titles of the Russian Education and Science Ministry, February 19, 2010, № 6/6)

Founded in 1999

8 issues a year

October — December 2012

Founder **— Don State Technical University**

The issue is prepared by: I. N. Boyko, B. A. Fedenko, M. P. Smirnova (English version)

Passed for printing 27.12.2012.
Format 60×84/8. Font «Tahoma». Offset printing.
C.p.sh. 20,8. Circulation 1000 cop. Order 820. Free price.

Editorial Board's address:

Gagarin Sq. 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia. Phone: +7 (863) 273-85-65

Printery address:

Gagarin Sq. 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia. Phone: +7 (863) 273-87-41, 273-83-22
http://vestnik.donstu.ru

Registration certificate ПИ № ФС 77-35012 от 16.01.09.

CONTENT

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 539.3

Аналитическое решение контактной задачи о внедрении сферического индентора в мягкий упругий слой*

С. С. Волков
(Донской государственный технический университет)

Приводится эффективный метод построения приближённого аналитического решения контактной задачи о внедрении сферического индентора в мягкий упругий слой, лежащий на жёстком упругом основании. Метод позволяет получить решение задачи, эффективное для всего диапазона значений характерных геометрических и физических параметров задачи. Рассмотрены случаи отличия модулей Юнга слоя и подложки более, чем в 100 раз. Полученные контактные напряжения для различной степени жёсткости основания сравниваются с ранее известными результатами для случая недеформируемого основания; показано, что при отличии свойств слоя и подложки в 100 раз, максимальная разница между результатами составляет менее 3 %. Определена связь между вдавливающей силой и радиусом сферы. Задача поставлена в связи с проблемой контроля упругих свойств тонких упругих покрытий.
Ключевые слова: *контактная задача, сферический индентор, эффективное решение, мягкий упругий слой, упругое основание, модуль Юнга, контроль упругих свойств.*

Введение. Контактные задачи для упругого слоя на протяжении длительного периода времени привлекают внимание исследователей. Решения этих задач имеют многочисленные приложения, в частности, они эффективно используются при исследовании свойств износостойких и защитных покрытий. Одним из важных практических приложений является возможность интерпретировать результаты индентирования и наноиндентирования [1]. Результаты работы могут быть использованы при изучении упругих свойств мягких материалов (мягкие полимеры, биологические ткани), когда следует учитывать влияние жёсткости подложки на образец.

Решению контактных задач для упругого слоя посвящено большое количество работ, так, например, в [2] постановка классической задачи Герца обобщается, и рассматривается случай, когда сферический индентор вдавливается в слой, лежащий на недеформируемом основании или на однородном полупространстве (однородное полупространство имеет упругие свойства, отличные от упругих свойств слоя). Задача сводится к решению интегрального уравнения. Приближённое решение интегрального уравнения строится двумя методами: сингулярным методом, который эффективен для очень тонких слоёв, лежащих на недеформируемом основании, когда толщина слоя H меньше радиуса контакта a $(\lambda = H / a < 0{,}5)$, и регулярным методом, который применим в случае, когда толщина слоя такова, что $\lambda > 1$ [3].

В данной работе для решения контактной задачи о внедрении сферического индентора в мягкий однородный слой на жёстком упругом полупространстве используется двусторонне-асимптотический метод [4, 5]. Под мягкостью слоя следует понимать то, что модуль Юнга рассматриваемого слоя в несколько раз меньше модуля Юнга подстилающего полупространства. За это отличие упругих модулей основания и слоя отвечает параметр относительной жёсткости ос-

* Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (11-08-91168-ГФЕН_а, 12-07-00639_а) и Министерства образования и науки РФ (ГК № 11.519.11.3028, соглашения № 14.B37.21.1131, 14.132.21.1693).

нования η (относительной мягкости слоя), равный отношению соответствующих упругих модулей. Ниже рассмотрены случаи, когда параметр η = 2,5; 10; 100; 1000 и показано, что при увеличении значения этого параметра результаты, полученные двусторонне-асимптотическим методом, сходятся к известным решениям, полученным ранее [6] для недеформируемого основания. Используемый метод позволяет получить эффективное решение задачи во всём диапазоне значений характерного геометрического параметра задачи λ.

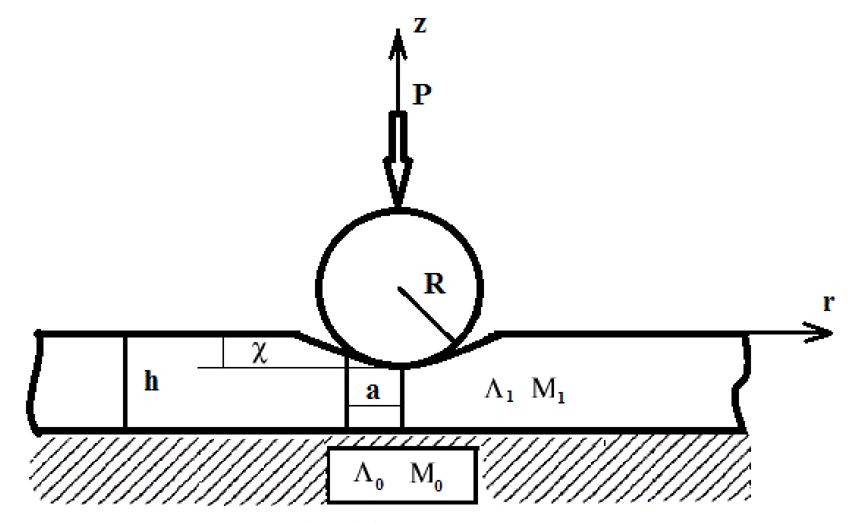


Рис. 1. Постановка задачи

Постановка задачи. Пусть сферический индентор вдавливается в поверхность мягкого упругого однородного слоя, сцепленного с упругим жёстким полупространством, силой P (рис 1). С полупространством связана цилиндрическая система координат (r, ϕ, z). Предполагается, что все деформации упруги и размер зоны контакта a мал по сравнению с радиусом R сферы, описывающей форму индентора. Силы трения между индентором и поверхностью полупространства отсутствуют. Считаем, что в окрестности начальной точки контакта форма сферического индентора аппроксимируется параболой

$$z = \psi(r) = \beta r^2 \tag{1}$$

Аппроксимация обоснована для однородных тел [7] для малых радиусов контакта $a < 0{,}1R$. Это условие выполняется практически для всех случаев упругого сферического внедрения. Вне индентора поверхность полупространства не загружена. Под действием силы P индентор перемещается на расстояние χ вдоль оси z. Коэффициенты Ламе изменяются с глубиной по следующему закону:

1) $\Lambda = \Lambda_1,\ M = M_1,\ -H \le z \le 0$;

2) $\Lambda = \Lambda_0,\ M = M_0,\ -\infty < z < -H$.

При сделанных предположениях граничные условия будут иметь вид:

$$z = 0, \tau_{zr} = \tau_{z\phi} = 0, \begin{cases} \sigma_z = 0, & r > a \\ w = -\delta(r) = -(\chi - \psi(r)), & r \le a \end{cases} \quad \text{и} \quad z = -H, \begin{cases} \tau_{zr}^{(1)} = \tau_{zr}^{(2)},\ \sigma_z^{(1)} = \sigma_z^{(2)} \\ w^{(1)} = w^{(2)},\ u^{(1)} = u^{(2)} \end{cases} \tag{2}$$

При $(r;\ -z) \to \infty$ напряжения в полупространстве исчезают. Требуется определить перемещение штампа и распределение контактных нормальных напряжений под штампом:

$$\sigma_z^{(1)}\big|_{z=0} = -q(r), \quad r \le a. \tag{3}$$

Построение решения задачи. Используя метод интегральных преобразований, задача сводится к решению следующего интегрального уравнения [4]:

$$\int_0^1 \tau(\rho)\rho d\rho \int_0^\infty L(u) J_0\left(ur\lambda^{-1}\right) J_0\left(u\rho\lambda^{-1}\right) du = \lambda\Theta_0(0) f(r), \quad r \le 1 \tag{4}$$

Здесь трансформанта $L(u)$ строится численно методом моделирующих функций [8].

В [4, 5] описан метод аппроксимации трансформанты ядра уравнения выражениями вида

$$L(u) = L_\Pi^N(u) + L_\Sigma^M(u), \text{ где } L_\Pi^N(u) = \prod_{i=1}^N \frac{u^2 + A_i^2}{u^2 + B_i^2}, \text{ а } L_\Sigma^M(u) = \sum_{k=1}^M \frac{c_k |u|}{u^2 + D_k^2}, \tag{5}$$

где $A_i, B_i, D_k \in C$; $C_k \in R$ — некоторые константы.

Для трансформанты ядра $L(u) \in L_\Pi^N$ в работе [4] получено аналитическое выражение, которое служит для приближённого определения контактных напряжений и вдавливающей силы:

$$\tau(r) \approx \frac{2a\Theta(0)}{\pi R}\left[2L_N^{-1}(0)\sqrt{1-r^2} + \sum_{i=1}^N C_i A_i \lambda^{-1} \int_r^1 \frac{\operatorname{sh}(A_i t)}{\sqrt{t^2 - r^2}} dt\right], \quad 0 \le r \le 1, \tag{6}$$

$$P \approx \frac{4a^3\Theta(0)}{R}\left[\frac{2}{3}L_N^{-1}(0) + \sum_{i=1}^N C_i\left(\operatorname{ch}(A_i\lambda) - A_i^{-1}\lambda \operatorname{ch}(A_i\lambda)\right)\right]. \tag{7}$$

Неизвестные C_i определяются из решения системы линейных алгебраических уравнений [4].

При рассмотрении контактной задачи о взаимодействии штампа с упругим слоем, лежащим на упругой подложке, в случае существенного отличия свойств слоя и подложки, использовалось предположение, что слой лежит на недеформируемом основании [3, 6]. Для этой модели основания трансформанта ядра $L(0) = 0$.

Одним из условий использования двусторонне-асимптотического метода является то, что трансформанта ядра является всюду строго положительной, и более того, нигде не обращается в ноль. Предположение, что подложка под покрытием остаётся упругой, хотя её свойства отличаются от свойств покрытия в 100, 1000, и более раз, позволяет удовлетворить этому условию.

Ниже считаем, что основание, на котором лежит слой, остаётся упругим, хотя его упругие свойства значительно отличаются от упругих свойств покрытия.

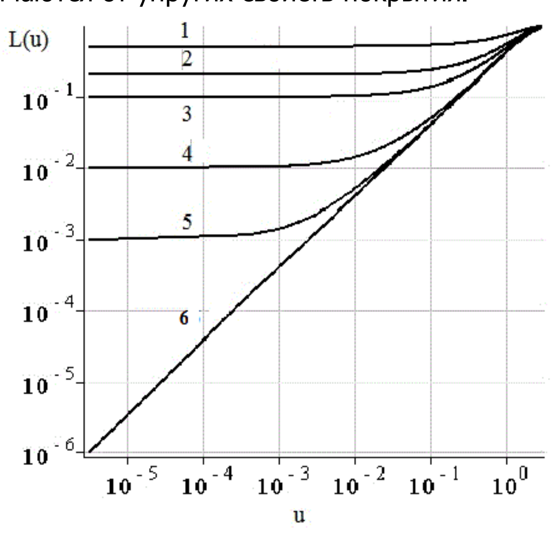


Рис. 2. Трансформанты ядер интегрального уравнения. Кривые 1—5 соответствуют отличию модулей Юнга слоя и основания в 2,5; 10; 100; 1000 раз соответственно. Кривая 6 соответствует трансформанте ядра для недеформируемого основания

На рис. 2 изображены графики функций $L(u)$ — трансформант ядра интегрального уравнения (4), построенные методом моделирующих функций [8]. Графики изображены в логарифмической шкале по обеим осям. Кривые с номерами 1, 2, 3, 4, 5 соответствуют трансформантам ядра для материалов, у которых упругие свойства покрытия и подложки отличаются в 2, 5, 10, 100, 1000 раз соответственно. Номером 6 обозначен график трансформанты ядра, для случая недеформируемого основания, при построении которого была взята функция из [3], следующего вида:

$$L(u) = \frac{2\chi \operatorname{sh}(2u) - 4u}{2\chi \operatorname{ch}(2u) + 1 + \chi^2 + 4u^2}, \quad \text{где} \quad \chi = 3 - 4\nu.$$

Анализируя рис. 2 можно увидеть, что по мере того, как увеличивается жёсткость основания, графики функций трансформант приближаются к своему предельному графику 6, для недеформируемого основания. Покажем, что значения контактных напряжений с увеличением жёсткости подложки приближаются к контактным напряжениям, соответствующим недеформируемой подложке.

Численные примеры. Рассмотрим внедрение параболического индентора в однородный слой, лежащий на жёстком упругом основании. Параметр η, характеризующий относительную жёсткость, принимает значения 2,5; 10; 100; 1000 ($\eta = E_0 \left(E_1(h)\right)^{-1}$). Коэффициент Пуассона, не нарушая общности, полагаем равным 0,3.

Введём функцию $\Delta_L(u)$, характеризующую погрешность аппроксимации трансформанты ядра:

$$\Delta_L(u) = \left| \left(L_{\Pi}^N(u) - L(u) \right) / L(u) \right| \cdot 100\ \%. \tag{8}$$

Формула (8) введена для оценки погрешности аппроксимации трансформанты ядра выражениями вида $L_{\Pi}^N(u)$.

В таблице 1 приведены значения величины $\tau^* = 2R\tau(0) / \Theta_0(0)a$, характеризующей контактные напряжения под штампом в точке r = 0.

Таблица 1

Контактные напряжения

$\max \Delta_L(u)$, $u \in [0..\infty)$	1,4 %	2,8 %	3,3 %	3 %	3,2 %	—
N	8	8	10	10	20	—
η	2	5	10	100	1000	—
λ = 0,25	4,098	6,375	7,991	10,075	10,326	10,342*
λ = 1	2,866	3,144	3,252	3,342	3,389	3,305†
λ = 4	2,562	2,555	2,560	2,556	2,542	2,568†

В таблице 2 приведены значения величины $P^* = 2RP / \Theta_0(0)a^3$, определяющей связь между вдавливающей силой и радиусом сферы.

Таблица 2

Связь вдавливающей силы и осадки

η	2	5	10	100	1000	—
λ = 0,25	7,938	11,557	13,973	17,048	17,447	17,66†
λ = 1	5,895	6,365	6,553	6,709	6,771	6,82†
λ = 4	5,363	5,355	5,365	5,360	5,336	5,38†

* Результаты из работы [6] для недеформируемого основания.

В таблице 1 и 2 значения крайнего правого столбца взяты из монографии [6] и характеризуют τ^* и P^* для случая вдавливания параболического штампа в упругий слой, лежащий на недеформируемом основании.

Из анализа таблицы 1 видно, что максимальная разница между контактными напряжениями при $\eta = 1000$ и значениями для недеформируемого основания не превышает 3 % при $\lambda = 1$. Заметим, что из таблиц 1, 2 видно, что значения τ^* и P^* принимают близкие значения при $\eta = 100$ и $\eta = 1000$. Обратим внимание также на то, что упругие свойства основания не оказывают сильного влияния на распределение контактных напряжений, для значений параметра $\lambda > 1$ (если сравнивать значения напряжений при η, равном 2 и 1000, то максимальная разница не превышает 15 % для $\lambda = 1$).

Заключение. Использование двусторонне-асимптотического метода при решении осесимметричной контактной задачи о мягком упругом слое на жёстком основании позволяет учесть деформируемость подложки под мягким покрытием твёрдого основания и получить решение, эффективное для всего диапазона значений характерных геометрических и физических параметров задачи, что является важным при исследовании механических свойств биологических тканей и мягких полимеров.

Автор благодарит С. М. Айзиковича за постановку задачи и советы при реализации решения.

Библиографический список

1. Tsui, Y. T. Substrate effects on nanoindentation mechanical property measurement of soft films on hard substrates / T. Y. Tsui, G. M. Pharr // Journal of Materials Research. — 1999. — Vol. 14. — No. 1. — Pp. 292—301.

2. El-Sherbiney, M. G. D. The Hertzian Contact of Surfaces Covered with Metallic Films / M. G. D. El-Sherbiney, J. Halling // Wear. — 1996. — Vol. 40. — No. 3. — Pp. 325—337.

3. Ворович, И. И. Неклассические смешанные задачи теории упругости / И. И. Ворович, В. А. Александров, В. А. Бабешко. — Москва: Наука, 1974. — 456 с.

4. Aizikovich, S. Analytical solution of the spherical indentation problem for a half-space with gradients with the depth elastic properties / S. Aizikovich, V. Alexandrov, J. Kalker, L. Krenev // International Journal of Solids and Structures 39. — 2002. — Pp. 2745—2772.

5. Aizikovich, S. Evaluation of the elastic properties of a functionally-graded coating from the indentation measurements / S. Aizikovich, L. Krenev, I. Sevostianov, I. Trubchik // ZAMM. — 2011. — Pp. 1—23.

6. Александров, В. М. Неклассические пространственные задачи механики контактных взаимодействий упругих тел / В. М. Александров, Д. А. Пожарский. — Москва: Факториал, 1998. — 288 с.

7. Suresh, S. A new method for estimating residual stresses by instrumented sharp indentation / S. Suresh, A. E. Giannakopoulos // Acta mater. — Vol. 46. — No. 16. — 1998. — Pp. 5755—5767.

8. Бабешко, В. А. Методы построения матриц Грина для стратифицированного упругого полупространства / В. А. Бабешко, Е. В. Глушков, Н. В. Глушкова // Журнал вычислительной математики и математической физики. — 1987. — Т. 27. — № 1. — С. 93—101.

Материал поступил в редакцию 09.08.2012.

References

1. Tsui, Y.T., Pharr, G.M. Substrate effects on nanoindentation mechanical property measurement of soft films on hard substrates. *Journal of Materials Research,* 1999, vol. 14, no. 1, pp. 292–301.

2. El-Sherbiney, M.G.D., Halling, J. The Hertzian Contact of Surfaces Covered with Metallic Films. *Wear,* 1996, vol. 40, no. 3, pp. 325–337.

3. Vorovich, I.I., Alexandrov, V.A., Babeshko, V.A*. Neklassicheskiye smeshannyye zadachi teorii uprugosti*. [Nonclassical mixed problems of elasticity theory.] Moscow: Nauka, 1974, 456 p. (in Russian).

4. Aizikovich, S., Alexandrov, V., Kalker, J., Krenev, L. Analytical solution of the spherical indentation problem for a half-space with gradients with the depth elastic properties. *International Journal of Solids and Structures,* 2002, 39, pp. 2745–2772.

5. Aizikovich, S., Krenev, L., Sevostianov, I., Trubchik, I. Evaluation of the elastic properties of a functionally-graded coating from the indentation measurements. *ZAMM,* 2011, pp. 1–23.

6. Alexandrov, V.M., Pozharskiy, D.A. *Neklassicheskiye prostranstvennyye zadachi mekhaniki kontaktnykh vzaimodeystviy uprugikh tel.* [Nonclassical spatial problems of mechanics of elastic bodies contact interaction.] Moscow: Faktorial, 1998, 288 p. (in Russian).

7. Suresh, S., Giannakopoulos, A.E. A new method for estimating residual stresses by instrumented sharp indentation. *Acta mater,* 1998, vol. 46, no. 16, pp. 5755–5767.

8. Babeshko, V.A., Glushkov, E.V., Glushkova, N.V. *Metody postroyeniya matrits Grina dlya stratifitsirovannogo uprugogo poluprostranstva*. [Green matrices design methods for elastic stratifiable half-space.] *Zhurnal vychislitelnoy matematiki i matematicheskoy fiziki,* 1987, vol. 27, no. 1, pp. 93–101 (in Russian).

ANALYTICAL SOLUTION TO CONTACT PROBLEM ON SPHERICAL INDENTER PENETRATION INTO SOFT ELASTIC LAYER*

S. S. Volkov
(Don State Technical University)

An efficient method for constructing an approximate analytical solution to the contact problem of the penetration of a spherical indenter into the soft elastic layer lying on a rigid elastic foundation is proposed. The method permits to obtain the problem solution effective for the full range of the problem characteristic geometrical and physical parameter values. Some cases when Young's moduli of the layer and the substrate differ more than a hundredfold are analyzed. The obtained contact stresses for different values of the foundation stiffness are compared with the formerly known results for the nondeformable foundation case. It is shown that when the elastic properties of the layer and the substrate differ a hundredfold, maximum difference between these results is less than 3%. The relationship between the pressing force and the radius of the sphere is determined. The question is put owing to the control problem of the thin coatings elastic properties.

Keywords: *contact problem, spherical indenter, effective solution, soft elastic layer, elastic foundation, Young's modulus, control of elastic properties.*

* The research is done with the partial financial support from RFFI (11-08-91168-GFEN_a, 12-07-00639_a) and from The Ministry of Education and Science of the Russian Federation (State Contract No. 11.519.11.3028, Agreements Nos. 14.B37.21.1131, 14.132.21.1693).

УДК 539.32

О задаче Коши для уравнения в частных производных первого порядка и её приложениях в теории обратных задач

А. О. Ватульян, Л. С. Гукасян
(Донской государственный технический университет)

Исследуется обратная коэффициентная задача для оператора второго порядка в односвязной области с кусочно-гладкой границей, возникающая в теории колебаний деформируемых систем. Предложен метод решения обратной коэффициентной задачи на основе исследования задачи Коши для дифференциального уравнения первого порядка с переменными коэффициентами. Решены прямая и обратная задачи на основе метода разностных аппроксимаций. Приведены результаты реконструкции переменного модуля сдвига различных типов, полученные как при точных, так и при зашумленных входных данных.
Ключевые слова: *задача Коши, обратная коэффициентная задача, разностные схемы.*

Введение. Коэффициентные задачи в естествознании, в математической физике, в механике деформируемого твёрдого тела — интенсивно развивающийся раздел вычислительной и экспериментальной механики, требующий основательной теоретической базы, составляет один из важнейших классов обратных задач. Для этого класса задач можно выделить модели, в которых идентифицируемые дифференциальные операторы имеют постоянные коэффициенты и модели, в которых требуется идентифицировать неоднородные свойства [1, 2].

Заметим, что можно рассматривать две кардинально различные постановки задачи идентификации неоднородностей в зависимости от способа измерения полей. В первой постановке реконструкция искомых характеристик осуществляется по измерению внутренних полей, а во второй — по измерению граничных полей в некотором частотном диапазоне. В первом случае обратная задача линейна, во втором — существенно нелинейна. Переменность коэффициентов дифференциальных операторов не позволяет построить в явном виде общие представления решений для соответствующих операторов, как для операторов с постоянными коэффициентами. Если коэффициенты дифференциальных операторов меняются произвольным образом, то методы решения прямых задач опираются либо на аппарат интегральных уравнений Фредгольма второго рода (для стержней и пластин) [3] и численную процедуру обращения соответствующих конечномерных операторов, либо на прямое использование конечноэлементных технологий. В то же время анализ первой линейной постановки позволяет глубже разобраться с причинами сильной некорректности, возникающей при анализе коэффициентных обратных задач [4]. С математической точки зрения эта задача сводится к решению некоторой задачи Коши для системы дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка [5]. В данном случае известны различные способы анализа. Для обыкновенных дифференциальных операторов такие постановки рассмотрены ранее — в [6, 7] проанализированы подобные обратные задачи для уравнений первого и второго порядков.

В приложениях часто встречается уравнение в частных производных второго порядка при постоянных характеристиках. В настоящей работе рассмотрена задача Коши для такого уравнения, известного как уравнение Гельмгольца.

1. Постановка прямой задачи. Рассмотрим установившиеся крутильные колебания стержня с переменным модулем сдвига с поперечным сечением S . Уравнение установившихся колебаний с частотой ω имеет вид [8]:

$$\left(\mu u_{,k}\right)_{,k} + \rho\omega^2 u = 0,$$
$$u_{,k} = \frac{\partial u}{\partial x_k}, \qquad (1)$$

где μ — переменный модуль сдвига, ρ — плотность.

Будем считать, что поперечное сечение стержня S есть односвязная область с кусочно-гладкой границей $l = l_1 \cup l_2$. Часть границы l_1 защемлена, на l_2 действует нагрузка. В этом случае краевые условия имеют вид:

$$u\big|_{l_1} = 0, \quad \mu\frac{\partial u}{\partial n}\bigg|_{l_2} = p. \qquad (2)$$

Приведём краевую задачу (1), (2) к безразмерному виду, введя безразмерные параметры, функции и обозначая $\mu_0 = \max\mu$, $\rho_0 = \max\rho$, $x \in S$,

$$g = \frac{\mu}{\mu_0}, \kappa^2 = \frac{\rho_0\omega^2 a^2}{\mu_0}, a = \mathrm{diam}S = \max_{A,B\in S}\rho\left(A,B\right), \qquad (3)$$

$$\left(g u_{,k}\right)_{,k} + \kappa^2 u = 0. \qquad (4)$$

$$u\big|_{l_1} = 0, \quad g\frac{\partial u}{\partial n}\bigg|_{l_2} = p_0. \qquad (5)$$

Задача (4)—(5) при известной положительной функции $g\left(x_1, x_2\right)$ представляет собой краевую задачу об отыскании $u\left(x_1, x_2\right)$, для которой несложно установить существование обобщённого решения при минимальных требованиях относительно гладкости $g\left(x_1, x_2\right)$. К сожалению, решение такой задачи даже в простой области типа прямоугольника может быть построено лишь численно, на основе либо конечноэлементного подхода, либо разностных аппроксимаций.

2. Постановка обратной задачи. Рассмотрим задачу, обратную по отношению к сформулированной выше (4)—(5). Поставим задачу об определении функции $g\left(x_1, x_2\right)$ в области S по известной (измеренной) функции $u\left(x_1, x_2\right)$. Тогда в предположениях о некоторой гладкости (которые будут описаны ниже) имеем следующую задачу Коши:

$$g_{,1}u_{,1} + g_{,2}u_{,2} + g\Delta u + \kappa^2 u = 0$$
$$g\frac{\partial u}{\partial n}\bigg|_{l_2} = p_0. \qquad (6)$$

Далее будем требовать выполнения следующих условий:

1) $\frac{\partial u}{\partial n}\Big|_{l_2} \neq 0$, (7)

2) $u_{,1}, u_{,2}, \Delta u$ — непрерывно дифференцируемы в S,

3) функции $u_{,1}, u_{,2}$ — коэффициенты при производных искомой функции в (6) — одновременно в ноль не обращаются, т. е. $u_{,1}{}^2 + u_{,2}{}^2 \neq 0$.

Пусть уравнение кривой l_2 имеет следующую параметризацию: $x_1 = \varphi_1\left(s\right)$, $x_2 = \varphi_2\left(s\right)$, $s \in \left[s_1, s_2\right]$. Тогда перепишем граничное условие для задачи Коши (6), которое приобретает вид

$$g\left(\varphi_1\left(s\right), \varphi_2\left(s\right)\right)\frac{\partial u}{\partial n}\bigg|_{k} = p_0\left(s\right). \qquad (8)$$

Введём понятие характеристик системы [9]:

$$\begin{cases} \dfrac{dx_1}{dt} = u_{,1} = \dfrac{\partial u}{\partial x_1} \\ \dfrac{dx_2}{dt} = u_{,2} = \dfrac{\partial u}{\partial x_2} \end{cases}. \tag{9}$$

Пусть $x_1(t), x_2(t)$ — её решение, которое называется характеристическим.

Очевидно, что вдоль характеристик выполняется соотношение

$$g_{,1}u_{,1} + g_{,2}u_{,2} = \frac{dg}{dt} \tag{10}$$

Действительно, если $g = g(x_1, x_2)$, то по правилу дифференцирования сложной функции имеем

$$\frac{dg}{dt} = g_{,1}\frac{dx_1}{dt} + g_{,2}\frac{dx_2}{dt} = g_{,1}u_{,1} + g_{,2}u_{,2}. \tag{11}$$

Имеют место следующие утверждения.

Утверждение 1. Пусть кривая l_2 не касается характеристик. Тогда задача Коши (6) однозначно разрешима в некоторой окрестности l_2.

Проведём из $\forall$ точки $M_0 \in l_2$ характеристику, т. е. решим семейство задач Коши для системы (9):

$$\begin{aligned} &\frac{dx_1}{dt} = u_{,1} \quad x_1\big|_{t=0} = r_1(s) \\ &\frac{dx_2}{dt} = u_{,2} \quad x_2\big|_{t=0} = r_2(s), \quad s \in [s_1, s_2]. \end{aligned} \tag{12}$$

Обозначим $x_1(t,s), x_2(t,s)$ — решение задачи Коши (12). В силу (11) исходная задача (6) преобразуется к виду.

$$\begin{aligned} &\frac{dg}{dt} + g\Delta u + \text{к}^2 u = 0 \\ &g\frac{\partial u}{\partial n}\bigg|_{t=0} = p_0(s). \end{aligned} \tag{13}$$

Таким образом получим, что (13) представляет собой задачу Коши для обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка. Нетрудно доказать, что $g = \psi(t,s)$ — непрерывно дифференцируема. Также можно выразить (t,s) через x_1, x_2 в предположении, что якобиан отличен от нуля:

$$\Im = \begin{vmatrix} \dfrac{\partial x_1}{\partial s} & \dfrac{\partial x_2}{\partial s} \\ \dfrac{\partial x_1}{\partial t} & \dfrac{\partial x_2}{\partial t} \end{vmatrix}_{t=0} = \begin{vmatrix} r_1' & r_2' \\ u_{,1} & u_{,2} \end{vmatrix}_{(x_1,x_2)\in l_2} \neq 0,$$

что выполняется, поскольку l_2 не является характеристикой.

Утверждение 2. Решение задачи (6) единственно.

Доказательство осуществляется аналогично [9]. В предположении наличия двух решений g_1, g_2 составим задачу Коши относительно их разности $\hat{g} = g_1 - g_2$

$$\frac{d\hat{g}}{dt} + \hat{g}\Delta u = 0, \quad \hat{g}\big|_{t=0} = 0,$$

которая в рамках условий (7) имеет только нулевое решение.

3. Построение решения на основе разностной трактовки. В настоящем пункте рассмотрим далее примеры конкретных расчётов для различных областей. Основное внимание уделим задачам для прямоугольника и круга, причём основные цели исследования таковы:

1) разработка метода построения функции $u(x_1, x_2)$ при различных значениях параметра κ при произвольных законах изменения $g(x_1, x_2)$ (монотонных, немонотонных, кусочно-непрерывных);

2) разработка метода построения решения обратной задачи, которая состоит в нахождении функции $g(x_1, x_2)$ по информации об узловых значениях функции $u(x_1, x_2)$ при некотором значении κ_0;

3) проведение серии вычислительных экспериментов, позволяющих оценить эффективность предлагаемых методов.

Пример 3.1. Рассмотрим задачу решения дифференциального уравнения (6) с переменными коэффициентами в области $S = [0,1] \times [-c, c]$ со следующими граничными условиями:

$$g\frac{\partial u}{\partial x_1}\bigg|_{x_1=1} = p_0(x_2), \quad g\frac{\partial u}{\partial x_2}\bigg|_{x_2=\pm c} = 0, \quad u\big|_{x_1=0} = 0. \tag{14}$$

Эта задача представляет собой классическую краевую смешанную задачу для неоднородного эллиптического оператора типа Гельмгольца с переменными коэффициентами, и её решение в общей ситуации (при произвольных законах неоднородности) возможно построить лишь численно.

3.1.1. Исследование прямой задачи. Прямая задача состоит в нахождении функции $u(x_1, x_2)$, удовлетворяющей краевым условиям (14) при заданном законе изменения $g(x_1, x_2)$ в некотором диапазоне изменения κ.

Один из методов решения основан на методе разностных аппроксимаций. В методе разностных аппроксимаций применён пятиточечный шаблон для вторых производных и двухточечный — для первых производных (левая разностная производная) [10]. Введём прямоугольную сетку с шагами h_1, h_2 по координатным осям x_1, x_2 соответственно.

Введём обозначение для узловых переменных $u_{i,j} = u(ih_1, -c + jh_2)$ и $g_{i,j} = g(ih_1, -c + jh_2)$. Положим шаг аппроксимации по обеим осям одинаковым $h_1 = h_2 = h$:

$$(g_{i+h,j} - g_{i,j})(u_{i+h,j} - u_{i,j}) + g_{i,j}(u_{i+h_1,j} - 4u_{i,j} + u_{i-h,j} + u_{i,j+h} + u_{i,j-h}) + (g_{i,j+h} - g_{i,j})(u_{i,j+h} - u_{i,j}) + h^2\kappa^2 u_{i,j} = 0.$$

После использования разностных аппроксимаций получим следующие граничные условия:

$$\begin{gathered} u_{N,j} = p_{0j}h / g_{i,j} + u_{N-h,j} \\ u_{i,-c} = u_{i,-c+h}, \quad u_{i,M} = u_{i,M-h}, \quad u_{0,j} = 0 \end{gathered} \tag{15}$$

Далее составим систему линейных алгебраических уравнений. Учитывая граничные условия (15), которые позволяют исключить граничные узловые точки, получим

$$\sum_{i=1}^{N-1}\sum_{j=1}^{M-1} g_{i+h,j}(u_{i+h,j} - u_{i,j}) + g_{i,j}(u_{i-h,j} - 2u_{i,j} + u_{i,j-h}) + g_{i,j+h}(u_{i-h,j} - u_{i,j}) + h^2\kappa^2 u_{i,j} = 0. \tag{16}$$

Система (16) имеет решение, причём единственное. Решая систему (16), находим узловые значения функции $u_{i,j}$.

Проверим точность предложенной схемы на примере, когда задача имеет точное решение. Например, пусть нагрузка имеет вид $p_0(x_2) = 1 + 2\cos\left(\frac{\pi x_2}{c}\right) + 3\cos\left(\frac{2\pi x_2}{c}\right)$, $g = 1$. Точное решение задачи строится методом разделения переменных и имеет следующий вид

$$u_T(x_1, x_2) = \frac{\sin(\kappa x_1)}{\kappa \cos(\kappa)} + 0{,}068\,\mathrm{sh}(2{,}978 x_1)\cos\left(\frac{\pi x_2}{c}\right) + 0{,}002\,\mathrm{sh}(6{,}203 x_1)\cos\left(\frac{2\pi x_2}{c}\right).$$

Проведена серия вычислительных экспериментов, которые свидетельствуют об эффективности предложенной разностной схемы.

Для иллюстрации на рисунке 1 представлены результаты решения прямой задачи, причём сплошной линией обозначено точное решение, а символом «звёздочка» решение, полученное методом разностных аппроксимаций, где $c = 1$, $h = 0{,}025$, $N = 40$, $M = 80$, $\kappa = 1$.

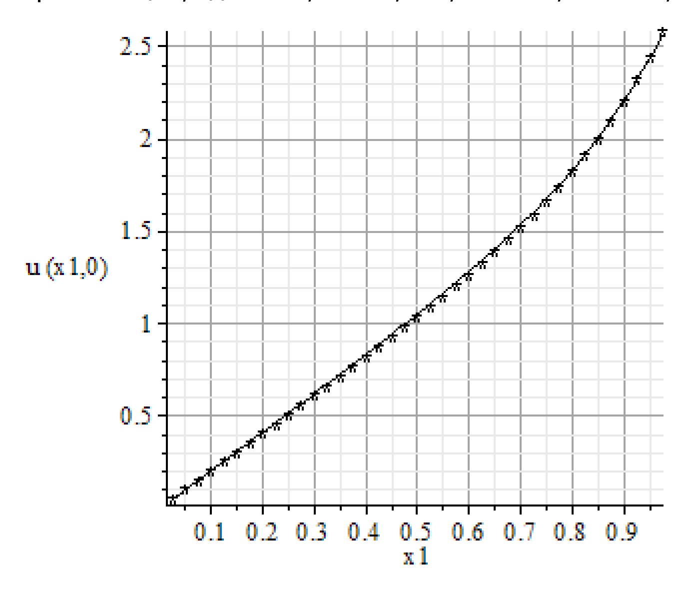


Рис. 1. Результаты решения прямой задачи

3.1.2. Исследование обратной задачи. Целью обратной задачи является восстановление неизвестной функции $g(x_1, x_2)$ по известным узловым значениям функции $u(x_1, x_2)$, полученным в результате решения прямой задачи методом разностных аппроксимаций, описанным в 3.1.1. Основной проблемой на этом пути является некорректная задача вычисления производной от функции, заданной таблично.

Для оценки точности разностного подхода введём в рассмотрение относительную погрешность:

$$\nu = \max_{\substack{i \in [1, N-1] \\ j \in [1, M-1]}} \left| \frac{g_{T\,i,j} - g_{\Pi\,i,j}}{g_{T\,i,j}} \right| \cdot 100\%,$$

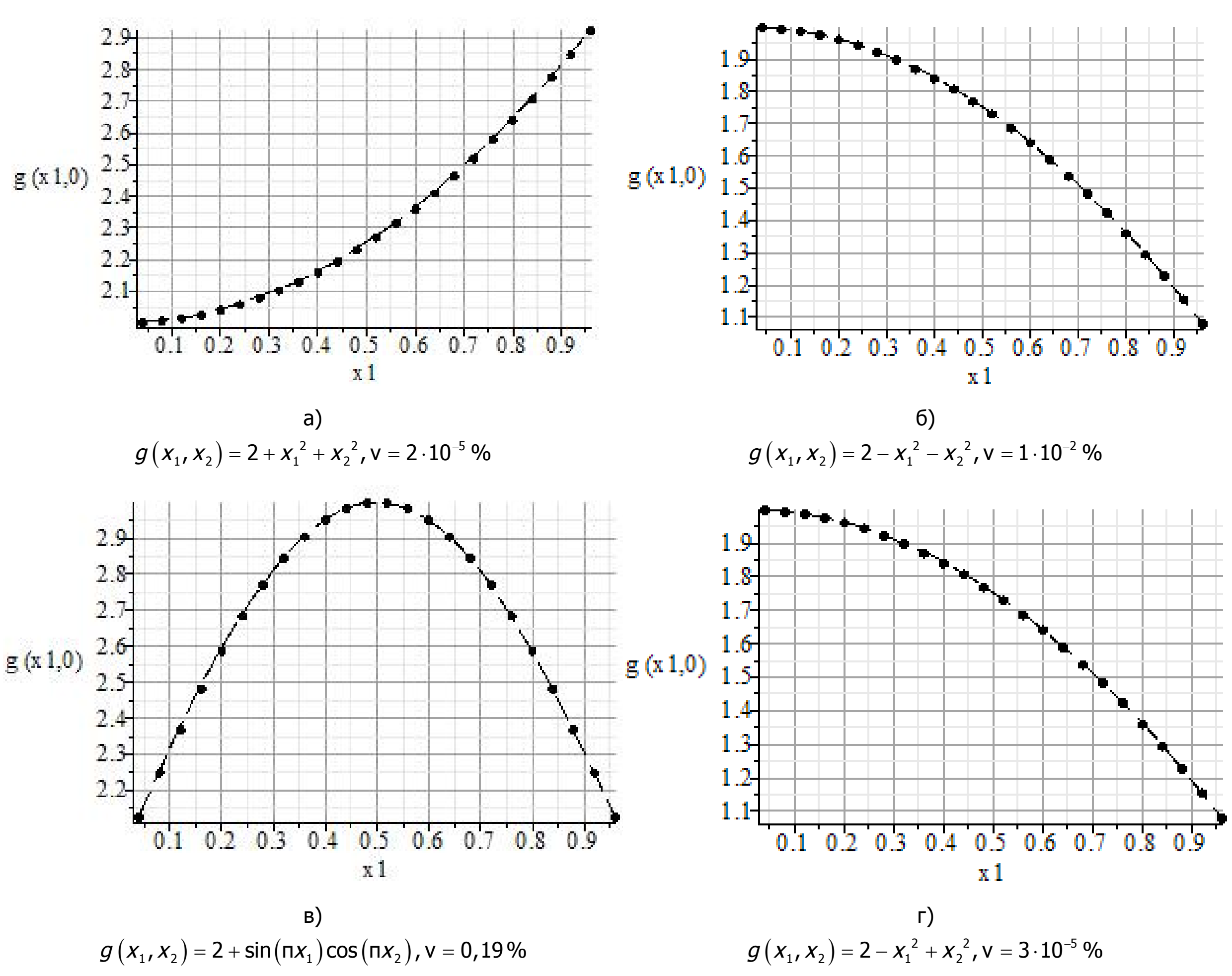
где $g_{T\,i,j}$ — точное решение, $g_{\Pi\,i,j}$ — полученное.

Рассмотрим случай, когда $u = x_1, p_0 = 2 + x_2^2$. Точное решение при $\kappa = 1$ имеет следующий вид:

$$g(x_1, x_2) = -\frac{x_1^2}{2} + \frac{5}{2} + x_2^2.$$

На рисунке 2 представлены результаты вычислительных экспериментов полученных при восстановлении различных функций $g(x_1, x_2)$. Здесь и далее прерывистой линией будет обозначена

восстанавливаемая функция, а точками — узловые значения, полученные при решении обратной задачи, $h_1 = h_2 = 0,04$, $c = 1$, $\kappa = 1$, $N = 25$, $M = 50$.



а) $g(x_1, x_2) = 2 + x_1^2 + x_2^2, \nu = 2 \cdot 10^{-5}\,\%$

б) $g(x_1, x_2) = 2 - x_1^2 - x_2^2, \nu = 1 \cdot 10^{-2}\,\%$

в) $g(x_1, x_2) = 2 + \sin(\pi x_1)\cos(\pi x_2), \nu = 0,19\,\%$

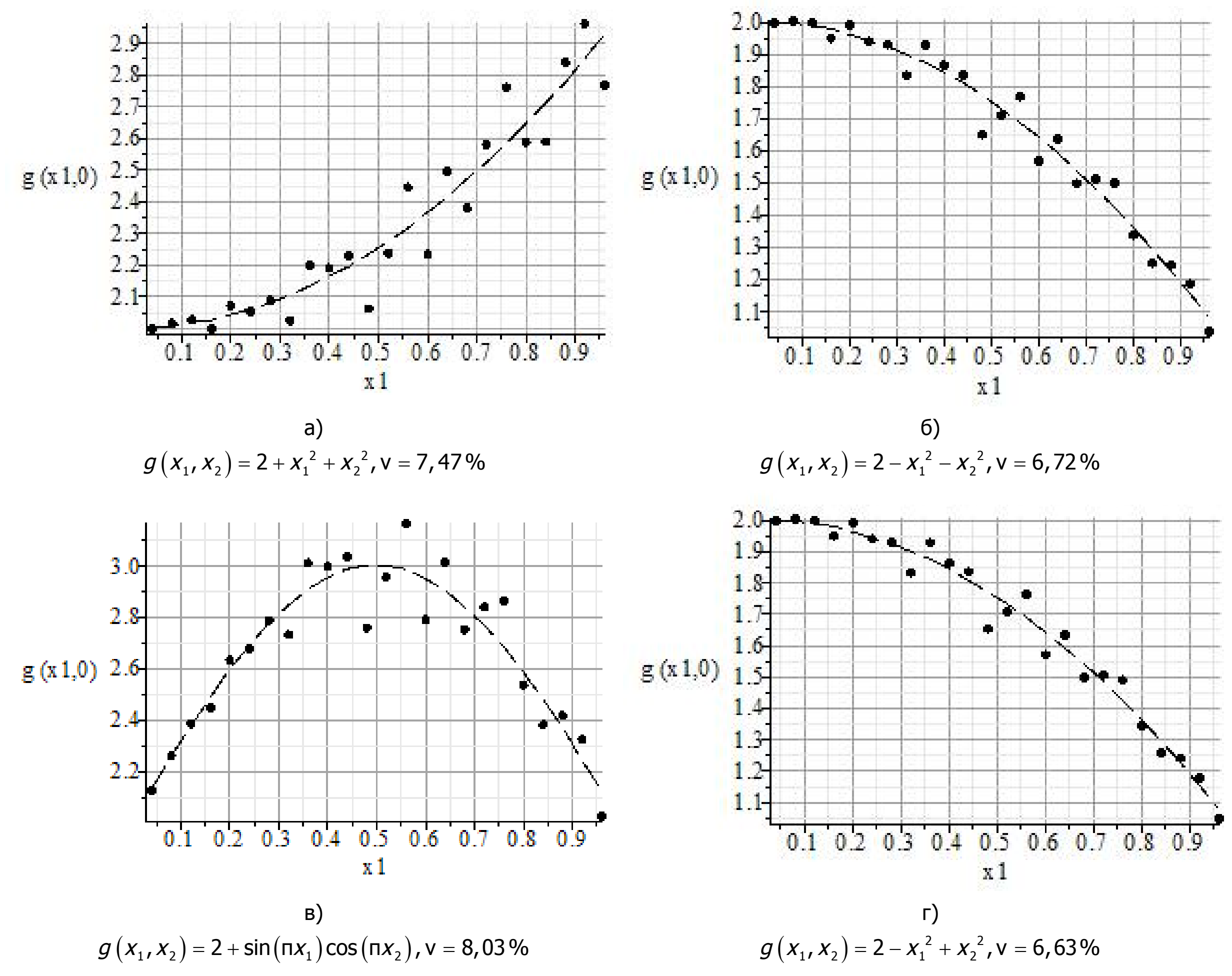
г) $g(x_1, x_2) = 2 - x_1^2 + x_2^2, \nu = 3 \cdot 10^{-5}\,\%$

Рис. 2. Результаты решения обратной задачи

Для аналогии с реальными экспериментами функция $u(x_1, x_2)$, используемая как входная информация для восстановления $g(x_1, x_2)$, была зашумлена. Вместо узловых значений $u(x_1, x_2)$ вводились узловые значения $u_\delta(x_1, x_2)$, такие, что $\max\left|u(x_1, x_2) - u_\delta(x_1, x_2)\right| \le \delta$. Зашумление $u(x_1, x_2)$ моделировалось с помощью генератора случайных чисел путём добавления к исходным узловым значениям малой случайной функции с равномерным законом распределения.

На рисунке 3 представлены результаты восстановления функции $g(x_1, x_2)$ с зашумленными входным данными $\delta = 4 \cdot 10^{-3}, \kappa = 1$.

При увеличении величины δ наблюдается сильный рост погрешности определяемой функции, что связано с некорректностью изучаемой задачи. Для улучшения качества реконструкции необходимо использовать регуляризирующие процедуры, например сплайн-аппроксимации при вычислении производных [11]. На основе описанного метода проведены эксперименты по реконструкции различных видов неоднородностей: гладкой монотонно возрастающей функции, гладкой монотонно убывающей функции, гладкой немонотонной функции.



а) $g(x_1, x_2) = 2 + x_1^2 + x_2^2, \nu = 7{,}47\,\%$

б) $g(x_1, x_2) = 2 - x_1^2 - x_2^2, \nu = 6{,}72\,\%$

в) $g(x_1, x_2) = 2 + \sin(\pi x_1)\cos(\pi x_2), \nu = 8{,}03\,\%$

г) $g(x_1, x_2) = 2 - x_1^2 + x_2^2, \nu = 6{,}63\,\%$

Рис. 3. Результаты решения обратной задачи с зашумленными входными данными

Пример 3.2. Рассмотрим задачу решения дифференциального уравнения (6), где область S является кольцом. В полярной системе координат, считая, что $g = g(r)$, и вводя безразмерные параметры и функции

$$\kappa^2 = \frac{\rho\omega^2 b^2}{g_0},\ g_0 = g(1),\ \tau_0 = \frac{\tau}{g_0},$$

$$r = b\xi,\ \xi_0 \le \xi \le 1,\ \xi_0 = \frac{a}{b},\ g(\xi) = \frac{g(b\xi)}{g_0},$$

получаем уравнение

$$g'u' + g\left(u'' + \frac{1}{\xi}u'\right) + \kappa^2 u = 0\ , \tag{17}$$

где граничные условия принимают следующий вид:

$$u(\xi_0) = 0, \quad u'(1) = \tau_0. \tag{18}$$

3.2.1. Прямая задача. Аналогично предыдущему используем разностные аппроксимации. Применим трехточечный шаблон [10] и введём обозначения $u_i = u(\xi_0 + ih)$ и $g_i = g(\xi_0 + ih)$. Получим следующее разностное уравнение (шаг аппроксимации для простоты записи положим $h = 1$, $\xi = \xi_0 + ih$):

$$(g_i - g_{i-1})(u_i - u_{i-1}) + g_i\left(u_{i+1} - 2u_i + u_{i-1} + \frac{h}{\xi}(u_i - u_{i-1})\right) + h^2\kappa^2 u_i = 0,$$

граничные условия примут следующий вид:

$$u_0 = 0, \quad u_N = \tau_0 + u_{N-1}.$$

Составим систему разностных уравнений с учётом граничных узловых точек:

$$\sum_{j=1}^{N-1} g_i\left(u_{i+1} - u_i + \frac{h}{\xi}(u_i - u_{i-1})\right) - g_{i-1}(u_i - u_{i-1}) + h^2\kappa^2 u_i = 0.$$

Для оценки точности предлагаемого метода сравним решение с точным. Так, положим

$$g(\xi) = 2 + 3\xi^2.$$

Отметим, что в рассматриваемом случае краевая задача (17) имеет точное решение, выражающееся через присоединённые функции Лежандра [12].

$$u(\xi) = 20{,}65 LegendreP\left(-\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{6}}{6}, 3\xi^2 + 1\right) - 1{,}61 LegendreQ\left(-\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{6}}{6}, 3\xi^2 + 1\right).$$

На рисунке 4 изображены результаты решения прямой задачи для $g = 2 + 3\xi^2$. Здесь прерывистой линией изображено точное решение, кружком — результаты, полученные методом разностных аппроксимаций (шаг аппроксимации $h = 0{,}001$) при $\kappa = 1$.

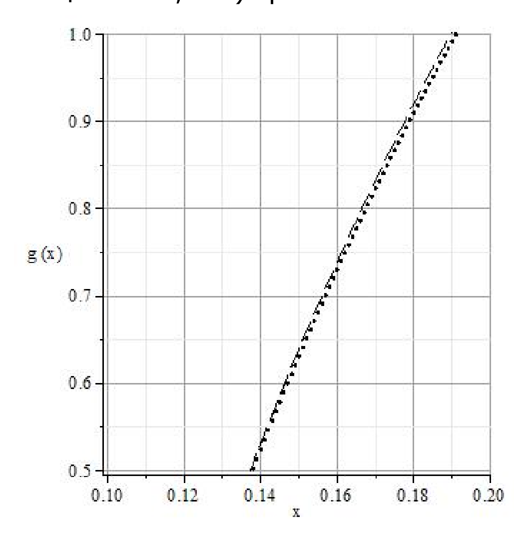
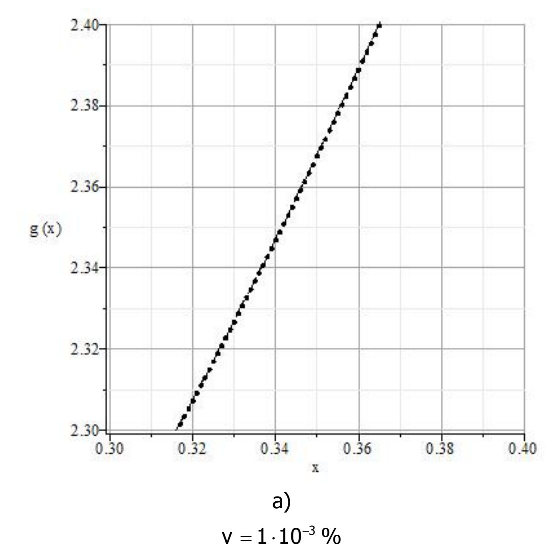


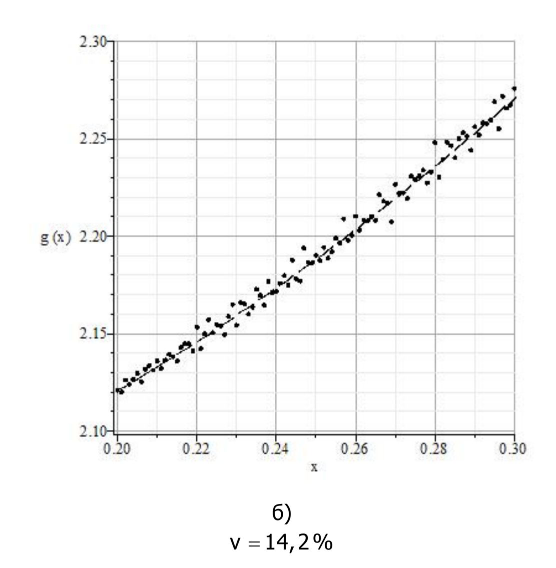
Рис. 4. Точное и полученное решение прямой задачи

3.2.2. Обратная задача. В решении обратной задачи также используем метод разностных аппроксимаций, описанный в 3.1.1, где в качестве функции u взяты узловые значения, полученные при решении прямой задачи 3.2.1.

На рисунке 5 представлен график восстановления функции $g = 2 + 3\xi^2$, а также результаты решения обратной задачи по восстановлению функции с зашумлением $\delta = 1 \cdot 10^{-5}$ (зашумление моделировалось аналогично 3.1.2), где $h = 1 \cdot 10^{-3}$. Здесь сплошной линией обозначено точное решение, кружком — результаты решения обратной задачи.



а)
$v = 1 \cdot 10^{-3}$ %



б)
$v = 14,2\%$

Рис. 5. Результаты обратной задачи, полученные при входных точных (а) и зашумленных (б) данных

Выводы. На основе предложенного метода проведена реконструкция переменного модуля сдвига различных типов. Полученные данные позволяют утверждать, что при точной входной информации такой подход, основанный на методе разностных аппроксимаций, эффективен. Об этом свидетельствует величина относительной погрешности вычислений. При зашумленных входных данных можно сказать следующее. Предложенная схема работает достаточно эффективно при малых степенях зашумления, но, к сожалению, при увеличении зашумления наблюдается значительный рост погрешности определяемой функции, что связано с некорректностью изучаемой задачи. Необходимо использовать регуляризирующие процедуры.

Библиографический список

1. Ватульян, А. О. Обратные задачи в механике деформируемого твёрдого тела / А. О. Ватульян. — Москва: Физматлит, 2007. — 223 с.

2. Isakov, V. Inverse Problems for Partial Differential Equations / V. Isakov. — Berlin: Springer, 2005. — 262 p.

3. Бочарова, О. В. О реконструкции плотности и модуля Юнга для неоднородного стержня / О. В. Бочарова, А. О. Ватульян // Акустический журнал. — 2009. — Т. 55, № 3. — С. 275—282.

4. Ватульян, А. О. К теории обратных коэффициентных задач в линейной механике деформируемого тела / А. О. Ватульян // Прикладная математика и механика. — 2010. — № 6. — С. 911—918.

5. Гюнтер, Н. М. Интегрирование уравнений первого порядка в частных производных / Н. М. Гюнтер. — Москва; Ленинград: Гостехиздат, 1934. — 359 с.

6. Ватульян, А. О. Об определении закона изменения модуля Юнга при анализе продольных колебаний стержня / А. О. Ватульян, А. Н. Боброва // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2009. — № 4. — С. 613—621.

7. Ватульян, А. О. Об идентификации переменной жёсткости при анализе поперечных колебаний балки / А. О. Ватульян, А. Ю. Бурьян, А. В. Осипов // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2010. — Т. 10, № 6. — С. 825—833.

8. Филиппов, А. П. Колебания деформируемых систем / А. П. Филиппов. — Изд. 2-е, перераб. — Москва: Машиностроение, 1970. — 736 с.

9. Федорюк, М. В. Обыкновенные дифференциальные уравнения / М. В. Федорюк. — Москва: Наука, 1985. — 448 с.

10. Самарский, А. А. Введение в теорию разностных схем / А. А. Самарский. — Москва: Наука, 1971. — 552 с.
11. Альберг, Дж. Теория сплайнов и её приложения / Дж. Альберг, Э. Нильсон, Дж. Уолш. — Москва: Мир, 1972. — 316 с.
12. Справочник по специальным функциям / Под ред. М. Абрамовица, И. Стиган. — Москва: Наука, 1979. — 831 с.

Материал поступил в редакцию 20.06.2012.

References

1. Vatulyan, A.O. *Obratnyye zadachi v mekhanike deformiruyemogo tverdogo tela.* [Inverse problems in deformable solid mechanics.] Moscow: Fizmatlit, 2007, 223 p. (in Russian).
2. Isakov, V. Inverse Problems for Partial Differential Equations. Berlin: Springer, 2005, 262 p.
3. Bocharova, O.V., Vatulyan, A.O. *O rekonstruktsii plotnosti i modulya Yunga dlya neodnorodnogo sterzhnya.* [On density reconstruction and Young's modulus for homogeneous spindle.] *Akusticheskiy zhurnal,* 2009, vol. 55, no. 3, pp. 275–282 (in Russian).
4. Vatulyan, A.O. *K teorii obratnykh koeffitsiyentnykh zadach v lineynoy mekhanike deformiruyemogo tela.* [On theory of inverse coefficient problems in linear mechanics of solids.] *Prikladnaya matematika i mekhanika,* 2010, no. 6, pp. 911–918 (in Russian).
5. Gyunter, N.M. *Integrirovaniye uravneniy pervogo poryadka v chastnykh proizvodnykh.* [Integration of first-order equations in partial derivatives.] Moscow; Leningrad: Gostekhizdat, 1934, 359 p. (in Russian).
6. Vatulyan, A.O., Bobrova, A.N. *Ob opredelenii zakona izmeneniya modulya Yunga pri analize prodolnykh kolebaniy sterzhnya*. [On law definition of Young's modulus variation under analysis of longitudinal rod oscillations.] *Vestnik of Don State Tech. University,* 2009, vol. 9, no. 4, pp. 613–621 (in Russian).
7. Vatulyan, A.O., Buryan, A.Y., Osipov, A.V. *Ob identifikatsii peremennoy zhestkosti pri analize poperechnykh kolebaniy balki*. [On identification of variable rigidity under the analysis of the bean lateral oscillations.] *Vestnik of Don State Tech. University,* 2010, vol. 10, no. 6, pp. 825–833 (in Russian).
8. Filippov, A.P. *Kolebaniya deformiruyemykh sistem.* [Oscillations of deformable systems.] 2nd redaction. Moscow: Mashinostroyeniye, 1970, 736 p. (in Russian).
9. Fedoryuk, M.V. *Obyknovennyye differentsialnyye uravneniya.* [Ordinary differential equations.] Moscow: Nauka, 1985, 448 p. (in Russian).
10. Samarskiy, A.A. *Vvedeniye v teoriyu raznostnykh skhem.* [Introduction to difference scheme theory.] Moscow: Nauka, 1971, 552 p. (in Russian).
11. Ahlberg, J., Nilson, E., Walsh, J. *Teoriya splaynov i yeye prilozheniya*. [The theory of splines and their applications.] Moscow: Mir, 1972, 316 p. (in Russian).
12. Abramovits, M., Stigan, I., eds. *Spravochnik po spetsialnym funktsiyam.* [Reference guide in special functions.] Moscow: Nauka, 1979, 831 p. (in Russian).

ON CAUCHY PROBLEM FOR FIRST-ORDER PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATION AND ITS APPLICATIONS IN INVERSION THEORY

A. O. Vatulyan, L. S. Gukasyan
(Don State Technical University)

The inverse coefficient problem for the second-order operator in the simply connected domain with the piecewise-smooth boundary arising in the theory of the deformable system vibrations is investigated. The solution method for the inverse coefficient problem based on studying Cauchy problem for the first-order differential equation with variable coefficients is offered. Both direct and inverse problems are solved on the ground of the difference approximations method. The reconstruction of the variable shear modulus of various types, obtained at both accurate and noisy input data, is resulted.
Keywords: *Cauchy problem, inverse coefficient problem, difference schemes.*

УДК 539.3

Трёхмерная контактная задача о взаимодействии упругого клина с двумя штампами при учёте трения

Д. А. Пожарский, А. С. Поляков
(Донской государственный технический университет)

В квазистатической постановке изучена пространственная контактная задача для упругого клина, в одну грань которого симметрично вдавливаются два одинаковых эллиптических в плане жёстких штампа с учётом трения. Другая грань клина свободна от напряжений. Область контакта считается неизвестной. Рассмотрены случаи движения штампов перпендикулярно ребру клина. При этом штампы могут приближаться к ребру или удаляться от него. При использовании известной функции Грина для трёхмерного клина контактная задача сведена к интегральному уравнению (ИУ) относительно контактного давления. Для решения ИУ применяется метод Галанова, позволяющий одновременно определить область контакта и давление в этой области. Сделаны расчёты при разных коэффициентах трения, углах раствора клина и расстояниях между штампами.
Ключевые слова: *теория упругости, контактная задача, клин, трение, метод Галанова.*

Введение. Исследована задача о квазистатическом контакте с трением двух симметрично расположенных штампов на грани трёхмерного упругого клина. Другая грань клина свободна от напряжений. Штампы начинают медленно двигаться перпендикулярно ребру клина. Симметричные области контакта неизвестны. Для решения использован метод нелинейных граничных ИУ [1, 2]. Ранее исследовались аналогичные задачи для одного штампа без учёта трения [1] и с учётом трения [3]. Изучалось взаимодействие двух штампов без учёта трения [4, 5].

Постановка задачи. Рассмотрим в квазистатической постановке трёхмерную контактную задачу для упругого клина $\{r \in [0, \infty];\ \varphi \in [-\alpha, \alpha];\ z \in (-\infty, \infty)\}$ с учётом сил трения, действующих перпендикулярно ребру клина, когда грань клина $\varphi = -\alpha$ свободна от напряжений. Пусть два симметричных жёстких штампа, первоначально внедрённых в грань $\varphi = \alpha$, начинают достаточно медленно двигаться по этой грани (без перекоса) перпендикулярно ребру клина. Упругие параметры материала клина — G (модуль сдвига) и ν (коэффициент Пуассона). Силы трения коллинеарны направлению движения (и направлены против движения). Штампы имеют форму эллиптических параболоидов, их подошвы описываются функциями

$$f_{\pm}(r,z) = \frac{(r-a)^2}{2R_1} + \frac{(z \pm h)^2}{2R_2}, \quad R_1 \ge R_2. \tag{1}$$

Задача симметрична относительно полуоси r. На штампы действуют нормальные вдавливающие силы P, имеющие плечи H_r (относительно полуоси r) и H_z (относительно ребра клина), и касательные силы T, направленные перпендикулярно ребру клина. В соответствии с законом Кулона выполняется соотношение $T = \mu P$, где μ — коэффициент трения Кулона. Условие контакта штампов и клина имеет вид:

$$u_{\varphi}(r,\alpha,z) = -\left[\delta - f_{\pm}(r,z)\right], \quad (r,z) \in \Omega_{\pm}, \tag{2}$$

где $u_{\varphi}(r, \alpha, z)$ — нормальное перемещение упругого материала клина с одной свободной от напряжений гранью при действии на другой грани нормальных и касательных напряжений, м; δ — осадка штампов, м; $\Omega_{\pm}$ — неизвестные области контакта, м^2. Смена знака μ эквивалентна изменению направления движения штампа на противоположное. Трением вдоль ребра клина пренебрегаем.

При известных величинах α, μ, G, ν, δ и заданных функциях $f_{\pm}(r, z)$ требуется определить нормальное контактное давление $\sigma_{\varphi}(r, \alpha, z) = -q(r, z)$, $(r, z) \in \Omega_{\pm}$, найти области контакта $\Omega_{\pm}$, а также значения P, H_r и H_z.

Решение задачи. При помощи условия контакта (2) выводится ИУ относительно функции $q(r, z)$ в неизвестной области $\Omega_{\pm}$. Решив это уравнение и определив $q(r, z)$ и $\Omega_{\pm}$, можем найти величины P, H_r и H_z из условий равновесия штампа. Для вывода ИУ рассмотрим две вспомогательные краевые задачи. Граничные условия первой имеют вид:

$$\varphi = \alpha: \quad \sigma_{\varphi} = -Q_1\delta(r-x)\delta(z-y), \quad \tau_{r\varphi} = \tau_{\varphi z} = 0\ ; \tag{3}$$

$$\varphi = -\alpha: \qquad \sigma_{\varphi} = \tau_{r\varphi} = \tau_{\varphi z} = 0. \tag{4}$$

Здесь $\delta(x)$ — дельта-функция Дирака. Решение задачи (3), (4) известно [1]. Используя его, найдём

$$u_{\varphi}(r,\alpha,z) = -\frac{2Q_1}{\pi^3\theta}\int_0^{\infty}\int_0^{\infty}\operatorname{sh}\pi u\left[W(u)K_{iu}(\beta x) + \frac{W_1(u)\Psi_1(u) - W_2(u)\Psi_2(u)}{2\operatorname{ch}(\pi u/2)}\right]K_{iu}(\beta r)\cos\beta(z-y)\,du\,d\beta,$$
$$\theta = G/(1-\nu), \tag{5}$$

$$W(u) = \frac{\operatorname{sh}4\alpha u + u\sin 4\alpha}{\operatorname{ch}4\alpha u - 2u^2\sin^2 2\alpha - 1}, \quad W_{1,2}(u) = \pm\frac{\operatorname{ch}2\alpha u \mp \cos 2\alpha}{\operatorname{sh}2\alpha u \pm u\sin 2\alpha}, \tag{6}$$

где функции $\Psi_n(u)$ ($n = 1, 2$) удовлетворяют ИУ Фредгольма второго рода:

$$\Psi_n(\tau) = (1-2\nu)\int_0^{\infty} L_n(\tau,u)\left[\Psi_n(u) + \operatorname{ch}\frac{\pi u}{2}K_{iu}(\beta x)\right]du \quad (0 \le \tau < \infty), \tag{7}$$

$$L_n(\tau,u) = 2\operatorname{ch}\frac{\pi\tau}{2}\operatorname{sh}\frac{\pi u}{2}W_n(u)\int_0^{\infty}\frac{\operatorname{sh}\pi t\; g_n(t)\,dt}{(\operatorname{ch}\pi t + \operatorname{ch}\pi\tau)(\operatorname{ch}\pi t + \operatorname{ch}\pi u)}, \tag{8}$$

$$g_1(t) = \frac{\operatorname{cth}\alpha t \ \sin^2 2\alpha}{\operatorname{ch}2\alpha t - \cos 4\alpha}, \quad g_2(t) = \frac{\operatorname{th}\alpha t \ \sin^2 2\alpha}{\operatorname{ch}2\alpha t + \cos 4\alpha}. \tag{9}$$

С использованием известного интеграла [1] выделим в формуле (5) главную часть, соответствующую упругому полупространству:

$$u_{\varphi}(r,\alpha,z) = -\frac{Q_1}{2\pi\theta R} - \frac{2Q_1}{\pi^3\theta}\int_0^{\infty}\int_0^{\infty}\operatorname{sh}\pi u\ K_{iu}(\beta r)\Big[(W(u) - \operatorname{cth}\pi u)K_{iu}(\beta x) +$$
$$+\frac{W_1(u)\Psi_1(u) - W_2(u)\Psi_2(u)}{2\operatorname{ch}(\pi u/2)}\Big]\cos\beta(z-y)\,du\,d\beta, \tag{10}$$

$$R = \left[(r-x)^2 + (z-y)^2\right]^{1/2}. \tag{11}$$

Граничные условия второй вспомогательной краевой задачи имеют вид:

$$\varphi = \alpha: \quad \sigma_{\varphi} = \tau_{\varphi z} = 0, \quad \tau_{r\varphi} = Q_2\delta(r-x)\delta(z-y); \tag{12}$$

$$\varphi = -\alpha: \quad \sigma_{\varphi} = \tau_{r\varphi} = \tau_{\varphi z} = 0. \tag{13}$$

Решение задачи (12), (13) также известно [3]. Используя его, найдём

$$u_{\varphi}(r,\alpha,z) = \frac{2Q_2}{\pi^3\theta}\int_0^{\infty}\int_0^{\infty}\cos\beta(z-y)\operatorname{sh}\pi u K_{iu}(\beta r)\left[K_{iu}(\beta x)f_0(u) + \frac{W_1(u)\Psi_1^*(u) - W_2(u)\Psi_2^*(u)}{2\operatorname{ch}(\pi u/2)}\right]du\,d\beta$$
$$+\frac{Q_2}{\pi^3\theta 2(1-\nu)}\int_0^{\infty}\cos\beta(z-y)d\beta\int_0^{\infty}\int_0^{\infty}\left[W_1(u)h_1(t) - W_2(u)h_2(t)\right]\operatorname{sh}\pi u\operatorname{sh}\pi t\frac{K_{iu}(\beta r)K_{it}(\beta x)}{\operatorname{ch}\pi t - \operatorname{ch}\pi u},dt\,du \tag{14}$$

$$f_0(u) = \frac{2u\sin^2 2\alpha}{\operatorname{ch}4\alpha u - 2u^2\sin^2 2\alpha - 1}, \quad h_{1,2}(u) = \frac{(1-2\nu)\operatorname{sh}2\alpha u \mp u\sin 2\alpha}{\operatorname{ch}2\alpha u \mp \cos 2\alpha}. \tag{15}$$

Здесь функции $\Psi_n^*(u)$ $(n=1{,}2)$ удовлетворяют ИУ Фредгольма второго рода

$$\Psi_n^*(\tau)=(1-2\nu)\int_0^\infty L_n(\tau,u)\left[\Psi_n^*(u)+\mathrm{ch}\frac{\pi u}{2}\theta_n(u)\right]du \quad (0\le\tau<\infty), \tag{16}$$

$$\theta_n(u)=-\frac{f_n(u)K_{iu}(\beta x)}{2(1-\nu)(1-2\nu)}+\frac{1}{2(1-\nu)}\int_0^\infty\frac{h_n(t)K_{it}(\beta x)}{\mathrm{ch}\pi t-\mathrm{ch}\pi u}\mathrm{sh}\pi t dt\ , \tag{17}$$

$$f_{1,2}(u)=\frac{\pm u}{W_{1,2}(u)}\pm\frac{2(1-\nu)(1-2\nu)\sin 2\alpha}{\mathrm{ch}\,2\alpha u\mp\cos 2\alpha}\ . \tag{18}$$

Используя значение интеграла

$$\frac{4}{\pi^2}\int_0^\infty\cos\beta(z-y)d\beta\int_0^\infty\int_0^\infty\frac{\mathrm{ch}\pi t\,\mathrm{ch}\pi u-1}{\mathrm{ch}\pi t-\mathrm{ch}\pi u}K_{iu}(\beta r)K_{it}(\beta x)dtdu=-\frac{r-x}{R^2}, \tag{19}$$

выделим в (14) главную часть, соответствующую упругому полупространству:

$$\begin{aligned}u_\varphi(r,\alpha,z)=&-\frac{Q_2(1-2\nu)}{4(1-\nu)\pi\theta}\cdot\frac{r-x}{R^2}+\frac{2Q_2}{\pi^3\theta}\int_0^\infty\int_0^\infty\cos\beta(z-y)\mathrm{sh}\pi u\ K_{iu}(\beta r)\times\\&\times\left[K_{iu}(\beta x)f_0(u)+\frac{W_1(u)\Psi_1^*(u)-W_2(u)\Psi_2^*(u)}{2\mathrm{ch}(\pi u/2)}\right]dud\beta+\\&+\frac{Q_2}{\pi^3\theta 2(1-\nu)}\int_0^\infty\cos\beta(z-y)d\beta\int_0^\infty\int_0^\infty\left\{\left[W_1(u)h_1(t)-W_2(u)h_2(t)\right]\mathrm{sh}\pi u\,\mathrm{sh}\pi t-\right.\\&\left.-2(1-2\nu)(\mathrm{ch}\pi u\,\mathrm{ch}\pi t-1)\right\}\frac{K_{iu}(\beta r)K_{it}(\beta x)}{\mathrm{ch}\pi t-\mathrm{ch}\pi u}dtdu.\end{aligned} \tag{20}$$

В соответствии с принципом суперпозиции заменим в (5) силу Q_1 на искомое давление $q(x, y)$, а силу Q_2 в (20) — на распределённые силы трения $\tau(x, y)=\mu q(x, y)$. Проинтегрировав далее правые части полученных соотношений по области контакта $\Omega_+\cup\Omega_-$ по переменным x, y и сложив их, получим при помощи условия контакта следующее ИУ:

$$\iint_{\Omega_+\cup\Omega_-}q(x,y)L_-(x,y,r,z)dxdy=d_\pm(r,z),\quad (r,z)\in\Omega_+\cup\Omega_-, \tag{21}$$

где

$$L_\pm(x,y,r,z)=L_1^\pm(x,y,r,z)+\mu L_2^\pm(x,y,r,z),\ \ d_\pm(r,z)=2\pi\theta\left[\delta-f_\pm(r,z)\right], \tag{22}$$

$$\begin{aligned}L_1^\pm(x,y,r,z)=&\frac{1}{R}+\frac{4}{\pi^2}\int_0^\infty\int_0^\infty\mathrm{sh}\pi u K_{iu}(\beta r)\left[\left(W(u)-\mathrm{cth}\pi u\right)K_{iu}(\beta x)+\right.\\&\left.+\frac{W_1(u)\Psi_1(u)-W_2(u)\Psi_2(u)}{2\,\mathrm{ch}(\pi u/2)}\right]\cos\beta(z\pm y)dud\beta,\end{aligned} \tag{23}$$

$$\begin{aligned}L_2^\pm(x,y,r,z)=&\frac{1-2\nu}{2(1-\nu)}\cdot\frac{r-x}{R^2}-\frac{4}{\pi^2}\int_0^\infty\int_0^\infty\cos\beta(z\pm y)\mathrm{sh}\pi u K_{iu}(\beta r)\times\\&\times\left[K_{iu}(\beta x)f_0(u)+\frac{W_1(u)\Psi_1^*(u)-W_2(u)\Psi_2^*(u)}{2\,\mathrm{ch}(\pi u/2)}\right]dud\beta-\\&-\frac{1}{\pi^2(1-\nu)}\int_0^\infty\cos\beta(z\pm y)d\beta\int_0^\infty\int_0^\infty\left\{\left[W_1(u)h_1(t)-W_2(u)h_2(t)\right]\mathrm{sh}\pi u\,\mathrm{sh}\pi t-\right.\\&\left.-2(1-2\nu)(\mathrm{ch}\pi u\,\mathrm{ch}\pi t-1)\right\}\frac{K_{iu}(\beta r)K_{it}(\beta x)}{\mathrm{ch}\pi t-\mathrm{ch}\pi u}dtdu.\end{aligned} \tag{24}$$

В силу симметрии ИУ (21) сводится к уравнению

$$\iint_{\Omega_-} q(x,y)\left[L_-(x,y,r,z)+L_+(x,y,r,z)\right]dxdy = d_\pm(r,z), \quad (r,z)\in\Omega_-. \tag{25}$$

Введём новые обозначения:

$$z_* = z-h, \quad y_* = y-h, \quad q_*(r,z_*) = q(r,z), \quad \Omega\leftrightarrow\Omega_-. \tag{26}$$

Перепишем уравнение (25) в форме

$$\iint_{\Omega} q_*(x,y_*)K(x,y_*,r,z_*)dxdy_* = d(r,z_*), \quad (r,z_*)\in\Omega\ , \tag{27}$$

$$d(r,z) = 2\pi\theta\left(\delta-\frac{(r-a)^2}{2R_1}-\frac{z^2}{2R_2}\right), \tag{28}$$

$$K(x,y,r,z) = L_-(x,y,r,z)+L_+(x,y+h,r,z+h). \tag{29}$$

Звёздочки далее опускаем. Для решения ИУ (27) при условии $q(r,z) = 0$, $(r,z)\in\Omega$ используем метод нелинейных граничных ИУ типа Гаммерштейна [1, 2], позволяющий одновременно определить область контакта, контактное давление и нормальное перемещение упругого материала вне области контакта.

Введём обозначения $M=(r,z)$, $N=(x,y)$ и предположим, что область контакта целиком содержится в прямоугольнике $S=\{|r-a|\le b,\ \ |z|\le c\}$, $a>b\ge c$, который не выходит на ребро клина.

Уравнение (27) дополним условием неотрицательности контактного давления в области контакта, а также условиями отсутствия контакта и обращения в нуль давления в дополнительной области $S\setminus\Omega$, записав их все в виде системы:

$$\begin{cases}\int_S K(N,M)q(N)dN = d(M), & q(M)\ge 0, \quad M\in\Omega,\\ \int_S K(N,M)q(N)dN > d(M), & q(M)=0, \quad M\in S\setminus\Omega.\end{cases} \tag{30}$$

Введём нелинейные операторы

$$p^+(M)=\sup\{p(M),0\}, \qquad p^-(M)=\inf\{p(M),0\}. \tag{31}$$

Идея метода заключается в представлении искомого давления в форме

$$q=q(M)=q^+(M)+q^-(M) \tag{32}$$

с целью автоматического удовлетворения интегрального неравенства (33) в ходе решения нелинейного операторного уравнения типа Гаммерштейна

$$\Theta p = 0 \quad (M\in\Omega), \qquad \Theta p\equiv p^- + Kp^+ - d\,, \tag{33}$$

где $p = p(M)$, $p^\pm = p^\pm(M)$, $d = d(M)$,

$$Kp^+ = \int_S K(N,M)\,p^+(N)\,dN. \tag{34}$$

Эквивалентность системы (30) и уравнения (33) устанавливается в теореме, аналогичной известным теоремам [1, 2]. При численном решении уравнения (33) применим модифицированный метод Ньютона [1].

Введём следующие безразмерные обозначения:

$$r-a=r'b, \quad x-a=x'b, \quad z=z'b, \quad y=y'b, \quad \delta=\delta'b, \tag{35}$$

$$A=b/(2R_1), \quad B=b/(2R_2), \quad \lambda=a/b, \quad \kappa=h/b, \quad \varepsilon=c/b, \tag{36}$$

$$q'(r',z')=q(r,z)/(2\pi\theta), \quad P'=P/(2\pi\theta b^2), \quad S'\to S, \quad \Omega'\to\Omega. \tag{37}$$

Штрихи далее опускаем. Параметр λ характеризует близость областей контакта к ребру клина, параметр κ характеризует удалённость штампов друг от друга. В расчётах полагали $\delta = A = B = \varepsilon = 1$, $\nu = 0{,}5$. В таблице даны значения вдавливающей силы P для разных углов клина 2α при изменяющихся значениях λ, κ и μ. При движении штампа к ребру клина (μ<0) сила меньше, чем для случая удаления от ребра (μ>0). С уменьшением значения λ или угла клина величина P падает. Эти факты объясняются приближением областей контакта к грани, где отсутствуют напряжения. Известно [3], что вдали от ребра клина величина $P(\delta)$ практически не зависит от коэффициента трения μ. Вблизи ребра клина это уже не так. Чем больше осадка, тем больше сила. Бóльшая вдавливающая сила требуется при удалении штампов друг от друга (параметр κ возрастает). Значение κ = ∞ соответствует случаю одного штампа. Взаимовлияние штампов существенно проявляется при уменьшении параметра κ (36).

Значения вдавливающей силы *P*

κ / μ	1,2	2	3	∞	1,2	2	3	∞
	2α = 60°; λ = 1,2				2α = 60°; λ = 2			
0,2	0,071	0,079	0,083	0,102	0,092	0,098	0,105	0,134
0	0,064	0,070	0,075	0,092	0,082	0,089	0,096	0,123
−0,2	0,058	0,065	0,069	0,084	0,076	0,082	0,088	0,113
2α = 90°; λ = 1,2					2α = 90°; λ = 2			
0,2	0,172	0,185	0,195	0,221	0,193	0,206	0,215	0,244
0	0,157	0,170	0,180	0,205	0,179	0,192	0,202	0,233
−0,2	0,145	0,157	0,166	0,191	0,168	0,180	0,190	0,222

Заключение. Решена новая пространственная контактная задача с неизвестной областью контакта для упругого клина о взаимодействии двух одинаковых эллиптических в плане штампов с учётом трения при одной свободной от напряжения грани клина. При использовании метода нелинейных граничных ИУ с учётом симметрии задач определены области контакта, давления в этих областях, вдавливающие силы. Сделаны расчёты при разных значениях угла раствора клина и коэффициента трения.

Работа поддержана грантами РФФИ 12-01-00065, 12-01-00991.

Библиографический список

1. Александров, В. М. Неклассические пространственные задачи механики контактных взаимодействий упругих тел / В. М. Александров, Д. А. Пожарский. — Москва: Факториал, 1998. — 288 с.

2. Галанов, Б. А. Метод граничных уравнений типа Гаммерштейна для контактных задач теории упругости в случае неизвестных областей контакта / Б. А. Галанов // Прикладная математика и механика. — 1985. — Т. 49, вып. 5. — С. 827—835.

3. Пожарский, Д. А. О трёхмерной контактной задаче для упругого клина при учёте сил трения / Д. А. Пожарский // Прикладная математика и механика. — 2000. — Т. 64, вып. 1.— С. 151—159.

4. Молчанов, А. А. Взаимодействие штампов на грани упругого клина / А. А. Молчанов, Д. А. Пожарский // Прикладная математика и механика. — 2010. — Т. 74, вып. 4. — С. 681—690.

5. Соболь, Б. В. Пространственная задача о контакте системы штампов с упругим слоем / Б. В. Соболь, И. М. Пешхоев // Экологический вестник научных центров ЧЭС. — 2011. — № 1. — С. 69—76.

Материал поступил в редакцию 31.08.2012.

References

1. Alexandrov, V.M., Pozharskiy, D.A. *Neklassicheskiye prostranstvennyye zadachi mekhaniki kontaktnykh vzaimodeystviy uprugikh tel.* [Nonclassical spatial problems of elastic bodies contact interaction mechanics.] Moscow: Faktorial, 1998, 288 p. (in Russian).

2. Galanov, B.A. *Metod granichnykh uravneniy tipa Gammershteyna dlya kontaktnykh zadach teorii uprugosti v sluchaye neizvestnykh oblastey kontakta*. [Boundary equations method of Hammerstein type for elasticity theory contact problems in case of unknown contact domains.] *Prikladnaya matematika i mekhanika*, 1985, vol. 49, iss. 5, pp. 827–835 (in Russian).

3. Pozharskiy, D.A. *O trekhmernoy kontaktnoy zadache dlya uprugogo klina pri uchete sil treniya.* [On 3D contact problem for flexible wedge under friction.] *Prikladnaya matematika i mekhanika,* 2000, vol. 64, iss. 1, pp. 151–159 (in Russian).

4. Molchanov, A.A., Pozharskiy, D.A. *Vzaimodeystviye shtampov na grani uprugogo klina.* [Punches interaction on the edge of flexible wedge.] *Prikladnaya matematika i mekhanika*, 2010, vol. 74, iss. 4, pp. 681–690 (in Russian).

5. Sobol, B.V., Peshkhoyev, I.M. *Prostranstvennaya zadacha o kontakte sistemy shtampov s uprugim sloyem.* [Spatial problem on contact between punch system and elastic layer.] *Ekologicheskiy vestnik nauchnykh tsentrov ChES,* 2011, no. 1, pp. 69–76 (in Russian).

3D CONTACT PROBLEM ON INTERACTION BETWEEN FLEXIBLE WEDGE AND TWO PUNCHES UNDER FRICTION

D. A. Pozharskiy, A. S. Polyakov
(Don State Technical University)

The spatial contact problem for the flexible wedge is investigated in the quasi-static formulation when two identical elliptic rigid punches are symmetrically impressed into one face of the wedge under friction. The other wedge face is stress-free. The contact domain is accepted unknown. The motion of the punches perpendicular to the edge of the wedge is considered. In this case the punches can move either towards the edge or from the edge. Using the known Green function for the three-dimensional wedge, the contact problem is reduced to the integral equation with respect to the contact pressure. Galanov's method is used for solving the integral equation which permits to determine the contact domain and the contact pressure simultaneously. The numerical analysis is made for different values of the friction coefficient, wedge angle, and the distance between the punches.
Keywords: *theory of elasticity, contact problem, wedge, friction, Galanov's method.*

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 539.612

Адгезия аморфных ультратонких углеродных плёнок на сапфире: скретч-тестирование*

В. В. Илясов, Б. Ч. Месхи, А. А. Рыжкин, И. В. Ершов
(Донской государственный технический университет)

Изложены результаты изучения адгезионных свойств ультратонких углеродных плёнок на сапфире с помощью метода склерометрии. Определены параметры скретч-тестирования и адгезионная прочность сцепления аморфной углеродной плёнки с сапфиром. Силы адгезии составили величину порядка F_2 *= 1,58 мН при толщине углеродной плёнки* $h \approx 217$ *нм. Адгезионная прочность сцепления пары a-C/сапфир составила величину порядка* $H_{12} = 9,48 \cdot 10^{-20}$ *Дж. Таким образом, величина прочности сцепления пары углеродная плёнка/сапфир оказывается в 1,8 раз меньше, чем, например, у пары Au/*SiO_2*. Выполнены оценки твёрдости аморфной углеродной плёнки a-C на сапфире. Величина твёрдости составила* H_{SCR} *= 0,016 ГПа, что оказалось значительно меньше твёрдости углеродных плёнок, полученных методом магнетронного распыления в вакууме. Методом атомно-силовой микроскопии изучена морфология поверхности сканов углеродной плёнки. Выполнена оценка шероховатости поверхности скана углеродной плёнки, которая составила 60 нм.*
Ключевые слова: *углеродные плёнки, сапфир, адгезия покрытия, скретч-тест*

Введение. Интерес к аморфному углероду не ослабевает и обусловлен его уникальными свойствами (высокой механической прочностью, химической стойкостью и прозрачностью в широкой области спектра, низким порогом полевой эмиссии и др.) [1—3]. Широкий спектр свойств углеродных материалов обусловлен полиморфизмом структурных конфигураций углерода, как в кристаллическом, так и в аморфном состояниях [2]. Плёнки аморфного углерода $a-C$ состоят из встроенных друг в друга фаз — алмазоподобной (sp^3-конфигурация) и графитоподобной (sp^2-конфигурация). Последняя фаза состоит из фрагментов графитовых плоскостей и искажённых фрагментов молекулы фуллерена [3].

В последние годы возрос интерес к адгезионным свойствам углеродных материалов [4, 5]. В частности, показано, что величина удельной адгезии массива углеродных нанотрубок (УНТ), размещённых на подложке с плотностью около $5 \cdot 10^{10}$ см$^{-2}$, может достигать значений 900 Н/м^2, что оказывается почти в 200 раз больше, чем у лапок геккона [5]. Ящерица геккон, как известно, способна перемещаться по стенам и потолкам, так как её конечности обладают высокими адгезионными свойствами [6]. С другой стороны, одной из важнейших характеристик покрытий является прочность их сцепления с подложкой, а одним из основных методов, применяемым для определения адгезии, является метод царапания (склерометрии) [7].

Задачей настоящей работы является изучение адгезионной прочности ультратонких углеродных плёнок на сапфире.

Методика эксперимента. Объектом исследования служили аморфные ультратонкие углеродные плёнки $a-C$, осаждённые методом лазерной абляции на подложку из сапфира. Использовано излучение импульсного Nd-YAG-лазера с длиной волны 1,06 мкм. Лазерная абляция осуществля-

* Статья подготовлена в ходе работ по государственному контракту на выполнение научно-исследовательских работ от 29 апреля 2011 г. № 16.552.11.7027 с Минобрнауки России.

лась на оборудовании южного регионального центра коллективного пользования «Лазерные и оптические технологии» при ДГТУ. Плотность мощности лазерного излучения на поверхности нанокарбона при частоте генерации около 1000 Гц составляла величину порядка ~ $2{\cdot}10^3$ Вт/см^2. Осаждение углеродных нанокластеров осуществлялось на подложку при температуре 300 К. Время осаждения составляло около 2 минут. Детали синтеза ультратонких углеродных плёнок описаны в работе [8].

Изучение адгезии углеродного покрытия осуществлялось методом скретч-тестирования (склерометрии) с использованием установки Nanotest 600 (фирмы Micromaterials), на оборудовании межкафедрального ресурсного центра коллективного пользования ДГТУ. На рис. 1 представлена микрофотография поверхности исследуемых углеродных плёнок $a-C$, на которой видны четыре типовые борозды, получаемые при царапании алмазным индентором.

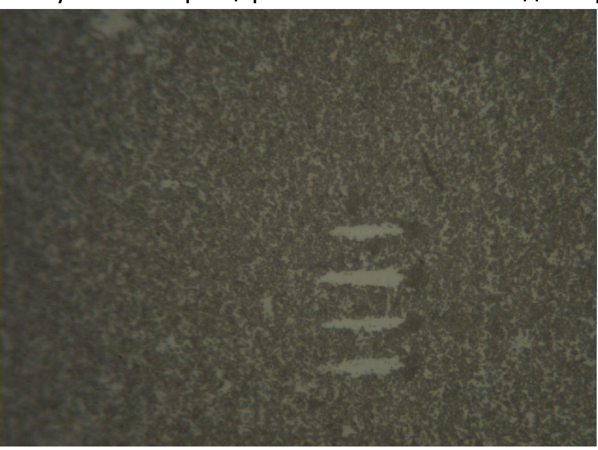


Рис. 1. Микрофотография поверхности углеродных плёнок со следами склерометрирования (увеличение, x1000)

Рис. 2. АСМ-изображение поверхности углеродной ультратонкой плёнки для скана 50×100 мкм^2

Изучаемые плёнки в основном представлены углеродными нанокластерами и характеризуются высокой шероховатостью и развитой поверхностью. Типовая морфология поверхности углеродных плёнок представлена на рис. 2.

Использованные режимы: скорость и длина сканирования составляли 1 мкм/с и 30 мкм соответственно; скорость возрастания нагрузки на инденторе составляла 0,20 мН/с (при минимальной и максимальной нагрузке 0,10 мН и 5 мН соответственно). Использован конический алмазный индентор с радиусом при вершине R = 10 мкм. В процессе царапания углеродной плёнки индентором фиксировалась шероховатость поверхности на пути 5 мкм без приложения нагрузки и далее на пути 25 мкм определялись размеры борозды при возрастающей вертикальной нагрузке (рис. 3). На углеродных плёнках было сделано более 15 царапин, параметры которых после измерения и статистической обработки (для уровня достоверности α = 0,9) явились основой для последующего анализа.

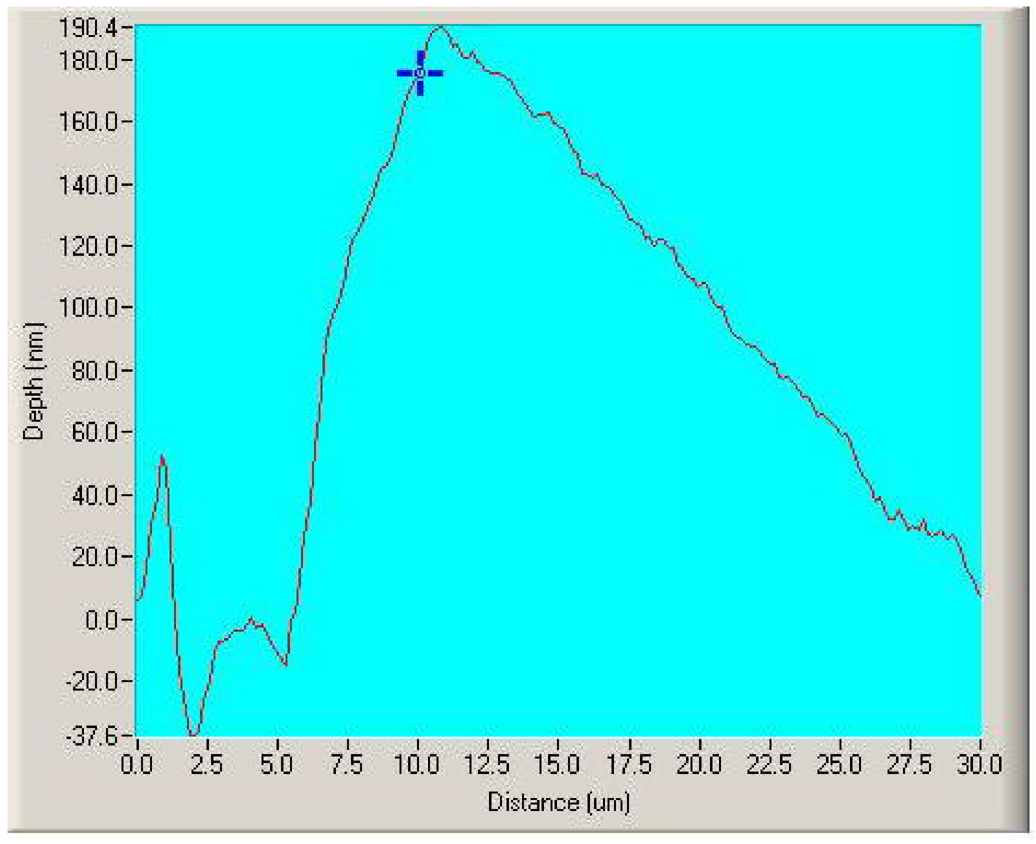


Рис. 3. Типовая диаграмма зависимости «глубина борозды — путь индентора»

Результаты и их обсуждение. Как правило, прочность сцепления плёнок с подложкой характеризуют величиной вертикальной (критической) нагрузки на острие индентора, при котором происходит отрыв адгезива (плёнки) от подложки [7]. В процессе царапания измерялась горизонтальная сила F при такой вертикальной нагрузке, когда на следе от индентора оставалась чистая подложка (сапфир). Предполагалось, что горизонтальная сила F состоит из двух составляющих. Первая составляющая F_1 — сила, возникающая при царапании плёнки на начальном участке пути (длиной 5 мкм), вторая F_2 — затрачивается на полное сцарапывание плёнки до подложки (сила адгезии)

$$F = F_1 + F_2 . \qquad (1)$$

Типовые значения параметров скретч-теста ультратонких углеродных плёнок на подложке из сапфира, полученных методом лазерной абляции на воздухе, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры скретч-тестирования и сила адгезии

№ царапин	Глубина внедрения индентора h, нм	Критическая нагрузка F, мН	F_1, мН	Сила адгезии F_2, мН	Ширина царапин b, мкм	Нагрузка P, мН
5	173	1,61	0,23	1,38	5,0÷5,2	10
6	209	1,94	0,23	1,71	5,0÷5,2	10
7	270	2,07	0,22	1,86	3,7÷4,5	5
8	216	1,60	0,20	1,40	3,7÷4,5	5
9	228	1,33	0,22	1,12	3,7÷4,5	5
10	205	2,26	0,25	2,01	3,7÷4,5	5
$\langle A \rangle$	217±26	1,80±0,28	0,23±0,01	1,58±0,30		

Таким образом, выполненные оценки силы адгезии дают величину порядка F_2 = 1,58 мН при толщине углеродной плёнки $h \approx 217$ нм и ширине царапины $b = 3,7 \div 5,2$ мкм. В рамках теории Джонсона — Кендала — Робертсона сила адгезии может быть представлена соотношением

$$F = H_{12} \frac{R^2}{6d^3}, \tag{2}$$

где F — сила адгезии, $R = 10$ мкм — радиус контакта (индентора), d — радиус действия молекулярных сил, $H_{12} = (H_1 \cdot H_2)^{1/2}$ — коэффициент Хамейкера для рассматриваемой пары материалов характеризует адгезионную прочность сцепления [5]. Полагаем, что радиус действия молекулярных сил составляет $d \approx 10^{-9}$ м. Тогда, оценка коэффициента Хамейкера на основе соотношения (2) и экспериментальных значений силы адгезии $F = 1,58$ мН даёт для адгезионной прочности сцепления аморфного углерода с сапфиром величину порядка $H_{12} = 9,48 \cdot 10^{-20}$ Дж. Итак, адгезионная прочность сцепления аморфной углеродной плёнки с сапфиром оказывается в 1,8 раз меньше, чем, например, у пары Au/SiO_2 [5].

Представляет интерес оценка твёрдости углеродной плёнки $a-C$. Как известно [9], измерение твёрдости методом склерометрии заключается в анализе профиля царапин и использовании соотношения вида

$$H_{SCR} = k \cdot \frac{P}{b^2}, \tag{3}$$

где H_{SCR} — твёрдость на наноуровне; P — нормальное усилие, Н; b — среднеарифметическое значение ширины царапины, м; k — коэффициент формы индентора может быть найден опытным путём с использованием наноиндентирования. В работе [10] для аналитического определения коэффициента формы индентора предлагается эмпирическая оценка $k = 0,687c\,\mathrm{tg}\alpha$ (где α — угол между осью и гранью торца индентора). В этом случае величина твёрдости H_{SCR}, измеренная методом склерометрии, (при α = 80 градусов) составит величину порядка H_{SCR} = 0,016 ГПа. Полученная оценка в сопоставлении с известными результатами (см. табл. 2) позволяет характеризовать низкие механические свойства полученных методом лазерной абляции углеродных плёнок. Сравнение с углеродными алмазоподобными (diamond-like carbon — DLC) и плёнками гидрогенизированного аморфного углерода (a-C-H) подтверждает сделанное нами предварительное заключение об аморфности изучаемых здесь углеродных плёнок.

Таблица 2

Основные характеристики углеродных плёнок осаждаемых разными методами

Образец	Шероховатость, нм	Толщина плёнки, нм	Твёрдость H_{SCR}, ГПа	Глубина внедрения индентора, нм	Метод нанесения
a-C	60	200÷950	0,016	217±26	Лазерная абляция
DLC-3 [9]	43	890±30	20±2	60	Дуговой разряд
a-C-H [11]	0,35	20	8,84±0,08	—	Магнетронное напыление

Заключение. Таким образом, в работе изучены адгезионные и механические свойства аморфных ультратонких углеродных плёнок на сапфире, осаждаемых методом лазерной абляции при использовании плазмы импульсного 1,06 мкм Nd-YAG лазера. Адгезионная прочность сцепления пары a-C/сапфир и твёрдость аморфной углеродной плёнки a-C составили величины порядка $H_{12} = 9,48 \cdot 10^{-20}$ Дж и H_{SCR} = 0,016 ГПа соответственно.

Библиографический список

1. Investigation of carbon thin films by pulsed laser deposition at different temperatures / R. Qindeel et al. // Journal of Non-Oxide Glasses. — 2010. — Vol. 1. — No. 4. — P. 191—197.

2. Свойства низкорефрактивных плёнок, полученных по методу близкого переноса при сублимации графита в квазизамкнутом объёме / Н. В. Сопинский и др. // Журнал технической физики. — 2011. — Т. 81, вып. 11. — С. 125—129.

3. Иванов-Омский, В. И. Сканирующие туннельные микроскопия и спектроскопия аморфного углерода. Обзор / В. И. Иванов-Омский, А. Б. Лодыгин, С. Г. Ястребов // Физика и техника полупроводников. — 2000. — Т. 34, вып. 12. — С. 1409—1416.

4. Friction and adhesion properties od nanotube arrays and floro-nanodiamond films / H. Lu et al. // Carbon. — 2008. — V. 46. — P. 1294—1301.

5. Maeno, Y. Adhesive behavior of single carbon nanotubes / Y. Maeno, A. Ishikawa, Y. Nakayama // Appl. Phys. Express. — 2010. — Vol. 3. — P. 65102—65103.

6. Microfabricated adhesive mimicking gecko foot-hair / A. K. Geim et al. // Nature Materials. — 2003. — Vol. 2. — P. 461—463.

7. Лунёв, В. М. Адгезионные характеристики покрытий и методы их измерения / В. М. Лунёв, О. В. Немашкало // Физическая инженерия поверхности. — 2010. — Т. 8, № 1. — С. 64—71.

8. Ультратонкие углеродные плёнки на сапфире, выращенные методом лазерной абляции: синтез и АСМ-исследование / В. В. Илясов и др. // Вестник ДГТУ. — 2012. — № 1. — С. 31—35.

9. Усеинов, С. С. Измерение твёрдости конструкционных материалов методами индентирования и склерометрии на субмикронном и нанометровом масштабах: автореф. дис. … канд. физ.-мат. наук / С. С. Усеинов. — Москва: ФГУ ТИСНУМ, 2010. — 21 с.

10. Особенности использования величины работы при автоматическом индентировании для определения механических свойств материалов [Электрон. ресурс] / С. А. Фирстов, В. Ф. Горбань, Э. П. Печковский // Наукова періодика України. — Режим доступа: http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/emipm/2009_16/pdfs/09fsamcm.pdf/ (дата обращения 21.10.12).

11. Sobolev, A. A. Elipsometric studies of thin silver films deposited by DC magnetron sputtering / A. A. Sobolev, N. S. Sochgov, K. V. Oskanov // Изв. вузов. Физика. — 2006. — № 8. Приложение. — С. 488—490.

Материал поступил в редакцию 01.02.2012.

References

1. Qindeel, R., et al. Investigation of carbon thin films by pulsed laser deposition at different temperatures. *Journal of Non-Oxide Glasses*, 2010, vol. 1, no. 4, pp. 191–197.

2. Sopinskiy, N.V., et al. *Svoystva nizkorefraktivnykh plenok, poluchennykh po metodu blizkogo perenosa pri sublimatsii grafita v kfazizamknutom obyeme.* [Properties of low-refractive films obtained by close-spaced vapor transport technique under carbon sublimation in quasiclosed space.] *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki,* 2011, vol. 81, iss. 11, pp. 125–129 (in Russian).

3. Ivanov-Omskiy, V.I., Lodygin, A.B., Yastrebov, S.G. *Skaniruyushchiye tunnelnyye mikroskopiya i spektroskopiya amorfnogo ugleroda. Obzor*. [Scanning tunnel microscopy and spectroscopy of amorphous carbon. Overview.] *Fizika i tekhnika poluprovodnikov,* 2000, vol. 34, iss. 12, pp. 1409–1416 (in Russian).

4. Lu, H., et al. Friction and adhesion properties of nanotube arrays and floro-nanodiamond films. *Carbon*, 2008, vol. 46, pp. 1294–1301.

5. Maeno, Y., Ishikawa, A., Nakayama, Y. Adhesive behavior of single carbon nanotubes. *Appl. Phys. Express*., 2010, vol. 3, pp. 65102–65103.

6. Geim, A.K., Dubonos, S.V., Grigorieva, I.V., Novoselov, K.S., Zhukov, A.A., Shapoval, S.Yu. Microfabricated adhesive mimicking gecko foot-hair. *Nature Materials,* 2003, vol. 2, pp. 461–463.

7. Lunev, V.M., Nemashkalo, O.V. *Adgezionnyye kharakteristiki pokrytiy i metody ikh izmereniya.* [Adhesive coating behavior and its measuring techniques.] *Fizicheskaya inzheneriya poverkhnosti,* 2010, vol. 8, no. 1, pp. 64–71 (in Russian).

8. Ilyasov, V.V., et al. *Ultratonkiye uglerodnyye plenki na sapfire, vyrashchennyye metodom lazernoy ablyatsii: sintez i ASM-issledoaniye*. [Ultrafine carbon laser ablation-grown films on sapphire: synthesis and AFM investigation.] *Vestnik of Don State Tech. University,* 2012, no. 1, pp. 31–35 (in Russian).

9. Useinov, S.S. *Izmereniye tverdosti konstruktsionnykh materialov metodami indentirovaniya i sklerometrii na submikronnom i nanometrovom masshtabakh*. [Engineering material hardness test through indentation and sclerometry in submicron and nanometer length scales.] Cand. physics and maths. sci. diss., author's abstract. Moscow, 2010, 21 p.

10. Firstov, S.A., Gorban, V.F., Pechkovskiy, E.P. *Osobennosti ispolzovaniya velichiny raboty pri avtomaticheskom indentirovanii dlya opredeleniya mekhanicheskikh svoystv materialov.* [Usage pattern of work operation amount under automatic indentation for material mechanical test.] Naukova periodyka Ukrayiny. Available at: http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/emipm/2009_16/pdfs/09fsamcm.pdf/ (accessed 21.10.12).

11. Sobolev, A.A., Sochgov, N.S., Oskanov, K.V. Elipsometric studies of thin silver films deposited by DC magnetron sputtering. *Izv. vuzov. Fizika,* 2006, no. 8. Annex, pp. 488–490.

ADHESION OF AMORPHOUS ULTRAFINE CARBON FILMS ON SAPPHIRE: SCRATCH TESTING

V. V. Ilyasov, B. C. Meskhi, A. A. Ryzhkin, I. V. Yershov
(Don State Technical University)

The research results of the adhesive properties of ultrathin carbon films on sapphire by the sclerometry technique are presented. Both scratch testing parameters and adhesion strength of bond between the amorphous carbon film and sapphire are determined. Adhesion forces have amounted to the value of F_2 = 1.58 mN by the carbon film thickness of $h \approx 217$ nm. The adhesion bond strength of a-C/sapphire couple has amounted to the value of $H_{12} = 9{,}48 \cdot 10^{-20}$ J. Thus, the adhesion strength value of carbon film/sapphire has turned out 1.8 times less than, for example, of Au/SiO_2 couple. Scleroscopic tests for the a-C amorphous carbon film on sapphire are performed. Hardness value has amounted to H_{SCR} = 0.016 hPa which appears far less than hardness of the carbon films obtained by the magnetron sputtering in vacuum. The surface morphology of carbon film scans is investigated by the atomic force microscopy. The carbon film scan roughness is estimated, it amounts to 60 nm.

Keywords: *carbon films, sapphire, adherence of coating, scratch test.*

УДК 004.89+621.518.2

Smart-паспорт мехатронного технологического объекта. Концепт

А. К. Тугенгольд
(Донской государственный технический университет),
А. А. Бердичевский
(Deloitte Consulting GmbH)

Представлен инновационный подход к интеллектуальному электронному интерактивному документированию мехатронных технологических объектов — созданию smart-паспортов. Актуальность подхода продиктована необходимостью для таких объектов организованного документооборота технологических данных, информационного обмена данными, содержащими, в частности, результаты испытаний на геометрическую точность технологического объекта и точность обработки изделий. Специфические особенности, которыми обладает каждый технологический объект, как правило, не учитываются при программировании обработки. Перспективным направлением развития является наделение информационной среды сопровождения таких объектов в виде smart-паспортов интеллектуальными возможностями с индивидуальной системы знаний для управления процессом обработки и, в целом, эксплуатации, включая обслуживание, ремонт. Обеспечивается возможность подключения к внешней сетевой коммуникационной среде. Приводится миссия smart-паспорта и задачи, решаемые при его функционировании. Особое внимание уделено методологическим вопросам формированию системы знаний паспорта. Приведены характеристики проблемной ситуации и задач планирования операций управления по состояниям продукта производства и решаемых подзадач в пространстве состояний технологической системы. Рекомендован подход к формированию методов получения последовательности решений в системе знаний. Обращено внимание на специфику терминологического характера построения системы знаний, свойственного такой предметной области мехатронного технологического оборудования как металлорежущие станки.

Ключевые слова: *smart-паспорт, электронное документирование, технологические объекты, система знаний.*

Введение. Широкое использование средств и методов современных информационных технологий во многом определяет стратегию развития сложных мехатронных объектов (МО). Это, как правило, наукоёмкие объекты, к которым относятся технологические машины и системы. Необходимость повышения качества выпускаемой продукции и возросшая конкуренция привела к заметному ужесточению требований, предъявляемых к технологическим машинам. Для того чтобы сохранить конкурентоспособность и вести эффективную экономическую деятельность, необходимо применять результативные системы информационного обеспечения, контроля и управления этими машинами на всех этапах жизненного цикла.

К недостаткам существующей системы ведения документальной информации многими предприятиями, выпускающими технологические мехатронные объекты (ТМО) и их эксплуатирующими, относятся:

- Отсутствие возможности организованного документооборота технологических данных; несистемное хранение данных.
- На практике полное отсутствие информационного обмена данными, содержащими результаты испытаний на геометрическую точность ТМО и точность обработки образцов изделий. Такие данные должны быть зафиксированы в сопроводительной документации в соответствии с ГОСТ 8-82, ГОСТ 27843-2006, устанавливающими показатели качества и методы испытаний (контроля) для их определения.
- Невозможность оперативного поиска данных из-за отсутствия в электронном виде паспортной и другой документальной информации. Специфические особенности, которыми обладает

каждый ТМО, не учитываются при программировании обработки, практически паспорт и другая сопроводительная информация при этом не используются.

Постановка задачи. Один из инновационных путей повышения эффективности технологического оборудования — интеллектуальное электронное документирование каждого ТМО на основе и в соответствии с подходом PLM (Product Lifecycle Management — технология управления жизненным циклом изделий) и ECM (Enterprise content management — управление информационными ресурсами) [1]. Электронное представление информации о сложном техническом объекте стало нормой на мировом рынке высокотехнологичной продукции. Процессы в PLM в современных условиях не мыслимы без применения интерактивных электронных технических руководств, технической и эксплуатационной документации, обучающих систем. Это особенно важно для предприятий, представляющих свои изделия на мировой рынок. Сегодня наличие интерактивной электронной эксплуатационной документации на изделие и каталогов запасных частей в электронной форме становятся обязательным условием выхода на международные рынки и необходимым условием конкурентоспособности продукции. Указанные факторы предопределили возникновение и активное развитие нового класса информационных и управленческих технологий, получивших название CALS-технологий[1], одной из составных частей которых является технология разработки и применения эксплуатационной документации на изделия в электронной форме.

Аналогичная ситуация складывается и в процессах технического обслуживания и ремонта. Всё это обусловлено тем, что увеличение сложности наукоёмкой продукции приводит к такому росту объёма информации и документации, что управление ей в «бумажной» форме становится практически невозможным.

Наделение информационной среды сопровождения ТМО интеллектуальными возможностями является перспективным направлением их развития. Это направление предполагает создание для каждой единицы технологического оборудования интеллектуального электронного паспорта, иначе — интеллектуального электронного паспорта или smart[2] паспорта технологического мехатронного объекта (SП ТМО). Комплекс информационных средств и технологий, используемых в SП ТМО, даёт возможность использования индивидуальной системы знаний (СЗ) для управления ТМО, реализовать преимущества новой объектно-ориентированной технологии. Это позволяет сформировать оценки складывающейся ситуации в процессе преобразования **продукта**[3], в том числе, оценку состояния системы и оценку достигаемых параметров качества изготовления, а также сделать правильный выбор из альтернативных вариантов управлений для обеспечения наибольшей эффективности [2]. Это даёт возможность реализовать принцип динамической самообучаемости и приспособляемости системы ТМО к реальным условиям, свойственный открытым системам.

СЗ, формализуемая в разработанной документации, создаёт возможность интеграции электронного паспорта в информационную инфраструктуру ТМО и технологическую систему предприятия. Таким путём обеспечивается информационная и интеллектуальная поддержка управления процессом обработки и, в целом, эксплуатации ТМО, включая обслуживание, ремонт и утилизацию. Развитие автоматизированных систем диагностики и контроля, как встроенных в

[1] CALS (Continuous Acquisition and Life Cycle Support) — это концепция, объединяющая принципы и технологии информационной поддержки жизненного цикла наукоемкого изделия (продукции) на всех его стадиях, основанная на использовании интегрированной информационной среды, обеспечивающая единообразные способы управления процессами взаимодействия всех участников этого цикла.

[2] Smart — интеллектуальный, smart robot — интеллектуальный робот [Словарь по ГПС и робототехнике. М.: Рус. яз., 1991, с. 392]. SMART (Specific, Measurable, Achievable, Realistic, Timely) — мнемоническая аббревиатура, используемая в менеджменте и проектном управлении (Определённый, Измеримый, Достижимый, Реалистический, Своевременный).

[3] В стандарте STEP принято, что изделие в целом, комплекс, комплект, узел, сборочная единица, деталь, стандартное изделие и т.д. соответствуют одной сущности — **product** (изделие).

изделие, так и используемых при обслуживании, требует применения специфических программных средств обработки информации, и SП ТМО позволяет иметь соответствующее обеспечение и возможность подключения к внешней сетевой коммуникационной среде.

Указанное обосновывает целесообразность нового подхода к документированию ТМО и возможность его реализации.

Миссия smart-паспорта

Миссия интеллектуального электронного паспорта технологического мехатронного объекта (smart-паспорта) — документальная организация интегрированной интерактивной информационной среды технологического объекта в электронной форме, объединяющая технологические, эксплуатационные и ремонтные функции в течение всего жизненного цикла с доминантой мобилизации интеллектуальных ресурсов для обеспечения эффективного функционирования, конкурентоспособности и, в целом, управления жизненным циклом объекта. Индивидуальный электронный паспорт позволяет учитывать специфику конкретного технологического объекта и использовать его возможности для принятия решений и эффективного управления.

К совокупности **целей**, достигаемых при введении SП ТМО, относятся:

1. Повышение эффективности функционирования в производственных условиях в течение жизненного цикла.

2. Повышение качества выпускаемой продукции в условиях мировой тенденции ужесточения требований, предъявляемых к технологическим машинам.

3. Повышение конкурентоспособности.

В процессе функционирования SП ТМО решаются следующие **задачи**:

1. Интеграция SП в информационную инфраструктуру ТМО для осуществления транзакций между подсистемами и процессами и в коммуникационную среду предприятия.

2. Наделение информационной среды сопровождения ТМО интеллектуальными возможностями.

3. Формирование оценок складывающихся ситуаций, в том числе, оценок состояния системы и достигаемых параметров качества преобразования продукта.

4. Применение результативных систем контроля и управления машинами на всех этапах жизненного цикла.

5. Накопление и обмен информацией на стадиях жизненного цикла с учётом специфики каждого конкретного технологического объекта.

Достижение указанных целей и решение задач требует разработки соответствующей информационной базы, научно-методического обеспечения и программно-технических решений.

К технологиям совершенствования процессов жизненного цикла изделия (**ИПИ-технологиям**) относят такие, которые имеют непосредственное отношение к обсуждаемому концепту:

- безбумажный документооборот-обмен данными (Paperless data interchange);
- управление проектом (Project Management);
- управление данными об изделии (Product Data Management);
- управление качеством (Quality Management);
- управление потоками работ (Workflow Management);
- управление изменениями производственных и организационных структур (Change Management) и др.

Состав программных продуктов в области управления документацией постоянно обновляется [3]. В последнее время появились следующие классы систем:

EDM (electronic/engineering document management — управление электронными/инженерными документами).

PDM (product data management — управление данными о продукции) позволяют структурировать, модифицировать и контролировать проектные данные, чертежи и документы.

TDM (technical data management) — термин, обозначающий управление техническими данными.

Среди программных средств разработки электронной технической документацией, выделяется программный комплекс Technical Guide Builder (TGB), который обеспечивает:

• подготовку документации в соответствии с российскими и международными стандартами (Р.50.1.029, Р.50.1.030, AECMA S1000D и пр.);

• автоматизированное формирование логических связей между частями и разделами документации;

• автоматизированное кодирование разделов документации и изделий в электронных каталогах в соответствии с выбранным стандартом;

• автоматизированный ввод исходных данных из PDM, CAD и офисных приложений;

• централизованное управление базой данных проектов документации на изделия;

• управление внесением изменений и сопровождение документации.

Перед изложением основных аспектов рассматриваемого концептуального подхода следует уточнить используемый в дальнейшем термин — технологическая система (ТС). Здесь ТС понимается как совокупность подсистемы заготовки производимого продукта, подсистемы инструмента и подсистемы ТМО, т. е. технологической машины. От состояния ТМО и его управления зависит качество исполнения движений рабочих органов объекта. В процессе функционирования эти три подсистемы образуют неразделимое единство, определяющее динамику системы при преобразовании продукта.

Формирование системы знаний smart-паспорта ТМО

Структура SП ТО включает две основные взаимосвязанные части [2] — базовую техническую документацию и систему знаний ТМО.

В базовую часть системы электронной документации ТМО входят технические характеристики, совокупность модулей данных конструкций и комплект эксплуатационной документации. В состав этого комплекта включены руководство по применяемому инструменту и оснастке, руководство по техническому обслуживанию ТМО и ремонту, каталог деталей и пр.

Методы построения базовой части технической документации достаточно регламентированы в соответствии с рекомендациями по интерактивным электронным техническим руководствам и стандартизации информационных технологий поддержки жизненного цикла продукции, в том числе, Р50.1.028, Р50.1.029, Р50.1.030 и др. В международной и отечественной практике часто используется система ENOVIA SmarTeam, которая предоставляет средства для автоматизации технического документооборота. Эта система существенно облегчает внесение изменений в конструкторскую и технологическую документацию, а также в другие сопутствующие документы.

Принципиальным отличием предлагаемого подхода к формированию интерактивных технических руководств мехатронных ТМО является системное включение интеллектуальной составляющей. В связи с этим в последующем изложении основное внимание уделено методологическим вопросам построения СЗ в системе SП объекта.

Концептуально СЗ, состоящая из традиционного сочетания БД и БЗ, включает следующие аспекты знаний:

• Знания *о себе* — особенности, характеристики, свойства, преимущества и недостатки.

• Знания о возможностях и способах достижения целей, обеспечении гибкого выбора сценариев (алгоритмов работы), информодинамика при инициализации потоков сообщений (по каналам связи с УЧПУ, внутренних и внешних систем очувствления, контроля результатов действий ТС и пр.).

• Знания о возможностях и способах получения новых знаний, извлечения, накопления и обобщения знаний.

Как вариант структурной, методической и программной организации может рассматриваться **мультиагентное моделирование** СЗ с нижеприведёнными принципами классификации агентов:

- o По используемому методу: ЭС, НЛ, НС, ГА и пр.
- o По функциональному назначению: производительность, надёжность, точность, техническое обслуживание и ремонт…
- o По факторам, влияющим на точность:
  - ✓ наследуемые факторы,
  - ✓ оперативные факторы,
  - ✓ деформации силовые,
  - ✓ деформации температурные,
  - ✓ погрешности координатных перемещений,
  - ✓ погрешности траекторных перемещений (многодвигательные).
- o По подсистемам ТС:
  - ✓ Заготовки производимого продукта,
  - ✓ Инструмента,
  - ✓ Технологической машины, т. е. подсистемы преобразования.

Проблемная ситуация.

При преобразовании продукта или обработке, например на металлорежущем станке, вариативный состав состояний ТС определяется спецификой процессов обработки, переходов от состояния к состоянию. Программа УЧПУ для обработки детали регламентирует конкретный состав состояний при движении от начала обработки к цели

$$C_1 \to C_2 \to \ldots \to C_n$$

с промежуточными переходами

$$y_1 \to y_2 \to \ldots \to y_{n-1}$$

и траекториями изменения состояний, т. е. спецификой переходов с характеристиками $x_{ij}(t)$, $\dot{x}_{ij}(t)$, $\ddot{x}_{ij}(t)$. Здесь $x_{ij}(t)$ — множество векторов движений рабочих органов при выполнении перехода или траектории движений по координатам, i — номер технологического перехода, j — номер рабочего органа; $i \in P$, P — последовательность переходов.

К недостаткам такого планирования обработки продукта относится то, что обычно программа для ЧПУ металлорежущих станков составляется на основе нормативов режимов резания, которые соответствуют средним типовым условиям работы. Рекомендуемые при этом режимы резания, а именно скорость, подача и глубина резания приведены без учёта возможности адаптации к реальным ситуациям, в том числе состоянию ТО и технологической системы в целом. Нормативы сформированы на основе обобщённых экспериментальных исследований по обработке материалов.

Конкретную мехатронную технологическую систему можно отнести к таким, для которых методы ситуационного управления наиболее целесообразны на основе представлений, сформированных Д. А. Поспеловым [4]. Для этих систем характерны следующие свойства:

1. Уникальность. *Каждая мехатронная ТС обладает такой структурой и функционирует так, что система управления должна строиться с учётом всех качеств подсистем.*

2. Оптимальность в нечётком толковании (на основе экспертных оценок). *Критерии качества управления зависят от складывающихся ситуаций и нужны их экспертные оценки.*

3. Динамичность, динамика пути. *Динамичность не только в традиционной характеристике систем управления, но и в изменении с течением времени структуры и функционирования ТС, она эволюционирует во времени.*

4. Неполнота описания. *Для таких ТС свойственна ограниченность получаемой информации, а именно такой, которой заведомо хватило бы для эффективного управления.*

При интеллектуальном управлении полная ситуация может трактоваться как совокупность возможных состояний ТС и целей управления:

$$S = \langle S_I, S_m, S_p, S_g \rangle,$$

где S_I, S_m, S_p, S_g — совокупность состояний инструмента, рабочих движений ТО (станка), исходного продукта (заготовки) и целей управления.

В этом пространстве состояний ТС совокупность состояний продукта, например, можно представить в виде

$$S_p = \langle C_b, C_p(U), C_g \rangle,$$

где C_b — начальное состояние продукта, C_g — целевое состояние продукта как основная задача ТС, $C_p(U)$ — совокупность состояний продукта в процессе обработки (преобразования) при множестве U управлений преобразования на ТМО, в том числе:

последовательностью технологических переходов — U_n,

параметрами переходов — U_i,

траекторными и позиционными перемещениями рабочих органов — U_w.

В целом

$$U = \langle U_n, U_i, U_w \rangle.$$

Здесь U — множество управляющих действий, выполняемых по решениям ИСУ.

Целевое состояние продукта, получаемого в результате преобразования, оценивается соответствием получаемых параметров качества и предъявляемых требований. В частности для обработки на металлорежущих станках целевое состояние формообразования детали это соответствие допустимым отклонениям геометрических форм, размеров и взаиморасположения поверхностей, а также их шероховатости.

Таким образом **проблемная ситуация** приводит к задаче планирования операций управления по состояниям $C_p(U)$ продукта и по подзадачам в пространстве состояний ТС [1]. Целесообразное преобразование ситуаций неразрывно связано с изменением состояний ТС, переходы между которыми определяются допустимыми управляющими воздействиями, которыми обладает ТМО.

При необходимости и целесообразности использования методов интеллектуального управления СЗ осуществляется поиск совокупности управляющих решений, обеспечивающих преобразование гипотетически выявленного пространства состояний (на основе экспертных представлений, наследуемых и оперативных параметров СЗ) к заданному целевому. Этот поиск осуществляется исходя из анализа знаний о функциональных возможностях конкретной ТС как индивида.

$$C^* \in C \to \left(u \in U, C_g \in C\right): C^* \xrightarrow{u} C_g,$$

где C^* — гипотетически выявленный класс состояний.

Такой подход позволяет сформулировать некоторую правдоподобную гипотезу об организации целесообразного поведения ТС [4].

$$S_i; Q_j \xrightarrow{U_k} Q_l; I_i.$$

Здесь I_i — те изменения, которые нужно внести в описание полной ситуации на стадии преобразования i после того, как текущая ситуация Q_j перешла в текущую ситуацию Q_l при принятом решении и соответствующем управлении U_k.

Текущая ситуация на стадии l определяется наступившим состоянием подсистемы продукта (заготовки) P_l, прежде всего, а также подсистем инструмента — T_l и ТО — M_l, то есть:

$$Q_l = \langle P_l,\ T_l,\ M_l \rangle.$$

В СЗ текущая ситуация в ТС определяется совокупностью знаний о структуре ТС и её функционировании в данный момент времени, а вектор U_k формируется на основе логико-трансляционных или корреляционных правил выводов для управления преобразованиями.

Принципиальный подход к формированию методов получения последовательности решений СЗ; языки описания ситуаций

В методике формирования и пополнения знаний в соответствии с теорией ситуационного управления важным этапом является обследование изучаемой системы, в данном случае ТС, и методов управления ей с целью формирования языка описания ситуаций, словарей понятий и отношений, характерных для функциональных задач. Особенность ТМО требует для описания структуры ТС, её функционирования и особенностей управления специальных семантических и прагматических формальных моделей. А это соответственно требует специальных языковых средств для описания моделей, способных отображать семантику и прагматику описываемых ситуаций и их преобразований в соответствии с характерными особенностями ТМО.

Терминологический характер СЗ, свойственный такой предметной области как металлорежущие станки, определяется понятиями, отношениями и действиями, принятыми в технологии машиностроения, станковедении, резании металлов и инструментальном обеспечении. Необходимой частью предметной терминологии является совокупность кодов, форм и обозначений, принятых в системах программирования станков — ЧПУ.

Большинство эксплуатируемых в настоящее время станков оснащены УЧПУ, программируемыми на основе стандарта ISO 6983 (DIN 66025) на языке ISO-7bit. На смену вводится программирование в соответствии со стандартом STEP NC, ISO 14649 [5]. Поскольку здесь геометрия заготовки и готового изделия описывается с использованием STEP-синтаксиса, создаётся возможность прямого обмена информацией между CAD/CAM/CNC системами и SП. Новые языки программирования работают с технологическими задачами, привязанными к типовым формам (*features*). Геометрические и другие данные могут быть непосредственно импортированы в систему ЧПУ, при этом должна быть добавлена технологическая информация, чтобы сгенерировать управляющую программу.

В STEP стандартизован ряд онтологий АР (Application Protocol — Прикладных Протоколов), в том числе для представления технологических данных. АР определены в качестве международных стандартов. Одним из соответствующих обсуждаемой предметной области для планирования станочной обработки служит протокол AP224: Mechanical product definition for process plans using machining features. В нём имеются средства для описания типовых форм конструкции деталей (например, отверстий, бобышек, буртов, карманов), требований к качеству обработки, свойств материалов, геометрической формы и др. В протоколе выделены особенности объекта обработки и свойства обрабатываемых заготовок, включающие такие сущности, как выступы, фаски, путь обработки, параметры материала. Для наглядности ниже приведены примеры терминов, используемых в протоколах стандарта STEP: *toolpath — траектория движения режущего инструмента, planar face — плоская лицевая поверхность, hole — отверстие, pocket — карман, slot — паз, profile — профиль, step — шаг, multistep drilling — многошаговое сверление, boring — расточка, reaming — развёртывание, tapping — нарезание резьбы метчиком, milling — фрезерование…*

Огромный объём терминологической информации в этой области упорядочивается применением фреймовых языков [6]. Рекомендация применения фреймовых языков в задачах управления [4] породила типологию основных фреймов-прототипов. Это фреймы технологий, фреймы

конфликтности, фреймы продукции и фреймы показателей. Их назначение применительно к обсуждаемой предметной области:

Фрейм технологии — описание знаний и данных, связанных с технологическими моделями и протеканием процессов обработки в объекте управления — ТМО.

Фрейм конфликтности — выявление конфликтных ситуаций, возникающих при решениях о невозможности получения продукта заданного качества при намеченных показателях эффективности, причин, вызвавших их, способов обнаружения и устранения конфликтных ситуаций.

Фрейм продукции — описание причинно-следственных связей, лежащих в основе процесса обработки и получения конечного продукта как цели управления.

Фрейм показателей — представление структуры показателей оценивания процесса, в том числе, производительности, точности и надёжности.

Следует отметить, что каждый фрейм — это некоторая готовая структура (что может быть использовано при представлении типовых ситуаций — features), которая при соответствующем заполнении слотов значениями превращается в описание конкретного факта, события или процесса. Это приводит к понятиям фрейма-прототипа и конкретного фрейма. Фреймы-прототипы хранят знания о типовых ситуациях, а конкретные фреймы пополняют эти единицы знания реальными данными.

Применяемые по умолчанию значения соответствуют ожиданиям, которые складываются на основании опыта в отношении некоторой типовой ситуации — features. Соответствующие действия управляемого объекта, определяющие образец поведения, называются «поведением по умолчанию». А после того, как обнаруживается новая неординарная ситуация, СЗ осуществляет модификацию подходящих фреймов, что позволяет проще приспособиться к ситуации и изменить поведение в процессе достижения цели. Такой подход хорошо сочетается с использованием рекурсивного метода для наращивания БЗ.

Заключение. Представленный инновационный подход к интеллектуальному электронному интерактивному документированию МТО основывается на необходимости организованного документооборота технологических данных таких объектов, информационного обмена данными. Информационная среда сопровождения таких объектов в виде smart-паспортов наделяется интеллектуальными возможностями с индивидуальной системы знаний для управления процессом обработки и эксплуатации, включая обслуживание, ремонт. Проанализированы характеристики проблемной ситуации и операций управления технологической системой по состояниям продукта производства, рекомендован подход к формированию системы знаний и методов получения последовательности решений.

Последующая часть изложения концепта будет посвящена анализу возникающих проблемных ситуаций, их моделированию и методам получения последовательностей решений, синтезируемых системой знаний SП.

Библиографический список

1. Тугенгольд, А. К. Оценка ситуации и принятие решений интеллектуальной системой управления технологическим объектом // А. К. Тугенгольд // Вестник ДГТУ. — 2010. — Т. 10, № 6. — С. 860—867.

2. Тугенгольд, А. К. Интеллектуальное электронное документирование технологических объектов в системе PLM / А. К. Тугенгольд [и др.] // Вестник ДГТУ. — 2011. — Т. 11, № 3. — С. 860—867.

3. Веретехина, С. В. Методика разработки интерактивной электронной эксплуатационной документации для наукоёмких изделий отрасли связи и информатизации / С. В. Веретехина. — Москва: ВНИИ ПВТ, 2008. — 128 с.

4. Поспелов, Д. А. Ситуационное управление: теория и практика / Д. А. Поспелов. — Москва: Наука, 1986. — 312 с.

5. Сосонкин, В. Л. Системы числового программного управления: учеб. пособие / В. Л. Сосонкин, Г. М. Мартинов. — Москва: Логос, 2005. — 296 с.

6. Тугенгольд А. К. Моделирование базы знаний системы управления мехатронным объектом / А. К. Тугенгольд, А. А. Кузьмин // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. — 2009. — Спец. вып. «Мехатроника. Современное состояние и тенденции развития». — С. 69—73.

Материал поступил в редакцию 30.07.2012.

References

1. Tugengold, A.K. *Otsenka situatsii i prinyatiye resheniy intellektualnoy sistemoy upravleniya tekhnologicheskim obyektom*. [Intellectual control system of the technological object: situation assessment and decision-making.] *Vestnik of Don State Tech. University,* 2010, vol. 10, no. 6, pp. 860–867 (in Russian).

2. Tugengold, A.K., et al. *Intellektualnoye elektronnoye dokumentirovaniye tekhnologiceskikh obyektov v sisteme PLM*. [Intellectual electronic documentation of technological objects in PLM system.] *Vestnik of Don State Tech. University,* 2011, vol. 11, no. 3, pp. 860–867 (in Russian).

3. Veretekhina, S.V. *Metodika razrabotki interaktivnoy elektronnoy ekspluatatsionnoy dokumentatsii dlya naukoyemkikh izdeliy otrasli svyazi i informatizatsii.* [Development methods of interactive PC-based in-line documentation for scientific products of communication and informatization industry.] Moscow: VNII PVT, 2008, 128 p. (in Russian).

4. Pospelov, D.A. *Situatsionnoye upravleniye: teoriya i praktika*. [Situation control: theory and practice.] Moscow: Nauka, 1986, 312 p. (in Russian).

5. Sosonkin, V.L., Martinov, G.M. *Sistemy chislovogo programmnogo upravleniya. Ucheb. posobiye.* [Numerical control systems. Study guide.] Moscow: Logos, 2005, 296 p. (in Russian).

6. Tugengold, A.K., Kuzmin, A.A. *Modelirovaniye bazy znaniy sistemy upravleniya mekhatronnym obyektom.* [Knowledgebase modeling of mechatronic object management system.] *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskiye nauki. Spetsialnyy vypusk «Mekhatronika. Sovremennoye sostoyaniye i tendentsii razvitiya»,* 2009, pp. 69–73 (in Russian).

SMART-PASSPORT OF MECHATRONIC PRODUCTION FACILITY. CONCEPT

A. K. Tugengold
(Don State Technical University),
A. A. Berdichevskiy
(Deloitte Consulting GmbH)

An innovative approach to the intelligent electronic interactive documentation of the mechatronic production facilities — the creation of smart-passports is presented. The approach relevancy is dictated by the need for such facilities to have an organized document flow of the tooling data, information exchange of data containing in particular test results for the geometrical accuracy of the production facility and the product machining accuracy. Specific features of every production facility under the operation programming are usually left out. The prospective line of the development is endowing the information maintenance environment of such facilities as smart-passports with the intellectual capacity, and the unique knowledge system to control the treatment process, and, in all, the operation including field maintenance. The possible connection to the external net communication media is provided. The smart-passport mission and tasks solved under its operation are presented in the paper. Special emphasis is put on the methodologies of the passport knowledge system formation. Characteristics of the problem situation and tasks on the control operation planning of the ware conditions, and solvable subproblems in the technological system state space are performed. The approach to the generation of the solution sequence technique in the knowledge system is recommended. The terminological nature specificity of the knowledge system building typical of such object domain of the mechatronic processing equipment as machine tools is emphasized.

Keywords: *smart-passport, electronic documentation, production facilities, knowledge system.*

УДК 681.5:519.819:331.45

Автоматизация процессов управления образовательным учреждением на основе онтологического моделирования и сервис-ориентированной архитектуры

А. А. Петрикин, И. В. Богуславский
(Донской государственный технический университет)

Затронута тема текущего состояния автоматизации отечественных высших учебных заведений. Определены аспекты автоматизации, которые являются ключевыми при построении информационно-управляющей системы (ИУС). Сформулированы задачи, которые решает внедрение ИУС в вузе. Сделан вывод о том, сервис-ориентированная архитектура (СОА) лучше всего подходит для проектирования ИУС вуза. Приведено формальное определение сервис-ориентированной архитектуры, раскрыты положительные стороны внедрения сервис-ориентированной технологии в информационное пространство вуза. Схема многоуровневой ИУС вуза для наглядности представлена в графическом виде. Рассматривается также вопрос избыточности сервисов, характерной для большинства информационных систем при продолжительном сроке эксплуатации. В качестве решения данной проблемы предложено использование структурного метасервиса, который осуществляет координацию взаимодействия структурных компонентов ИУС. Предложена математическая модель ИУС. Обобщая политику управления ИУС на базе СОА, авторы делают вывод о необходимости унифицированного описания предметной области. Рассмотрены преимущества онтологического подхода для концептуализации предметной области. Сделан вывод, что для эффективного функционирования и сопровождения ИУС необходимо разработать онтологическое описание понятий и отношений между понятиями, семантическое ядро и механизм трансформации онтологического описания. В графическом виде приведена схема концепции ИУС вуза, а также структура онтологической модели предметной области вуза как совокупность онтологических моделей отдельных сервисов ИУС.
Ключевые слова: *автоматизация, информационно-управляющая система, сервис, сервис-ориентированная архитектура, структура, структурный компонент, онтология, онтологическое моделирование, предметная область, семантическое ядро, математическая модель, унификация, высшее учебное заведение.*

Введение. В современных условиях одним из направлений повышения эффективности управления образовательным учреждением является внедрение информационно-управляющей системы (ИУС).

Внедрение в высшем учебном заведении информационно-управляющей системы решает следующие задачи: упорядоченное управление информационными потоками, создание единого информационного пространства, обеспечение распределённого доступа к данными и поддержка принятия решений.

В настоящий момент российские вузы находятся на стадии реформирования, связанного с присоединением России к Болонскому процессу, внедрением ЕГЭ, кредитных и рейтинговых систем. Закономерно, что большинство процессов вуза постоянно изменяются. Перемены в образовательных процессах требуют корректировки управления ими. При автоматизации этих процессов необходимо предоставить студентам доступ к информационным ресурсам вуза в полном объёме. Следует помнить также о том, что не каждый вуз может позволить себе единовременную автоматизацию своей деятельности — в этом случае временные издержки на обучение и адаптацию пользователей могут привести к срыву учебного процесса. Кроме того, потребуются весьма значительные материальные затраты. Таким образом, необходимо ещё на стадии проектирования закладывать в автоматизированную систему возможность гибкого внедрения.

Аспекты автоматизации вуза. Эффективность функционирования учебного заведения зависит от качества управления его процессами и своевременного принятия решений. ИУС — это своего рода инструмент реализации процессов учебного заведения и поддержки принятия решений, по-

этому от возможностей ИУС напрямую зависит эффективность функционирования вуза в целом [1]. На первый план выходят вопросы разработки системы с гибкой архитектурой, которая могла бы легко вписываться в текущую инфраструктуру любого вуза, а также подстраиваться под изменяющиеся процессы.

Вуз представляет собой динамично изменяющуюся среду, поэтому программы, автоматизирующие некоторый процесс, могут устареть ещё до момента внедрения ИУС. Чем шире распространяется автоматизация, тем сложнее процесс модификации и сопровождения информационных систем. Начиная с определённого уровня сложности, разработчики занимаются поддержкой уже разработанных систем, что, в свою очередь, тормозит развитие ИУС в целом [2].

К сложности объекта автоматизации добавляется сложность самой ИУС. ИУС вуза включает в себя множество функциональных блоков, сервисов, коммуникационных устройств, систем, технологий, данных, пользователей и т. д. Сложность эксплуатации ИУС обусловлена длительным жизненным циклом, в течение которого происходят непрерывная смена аппаратного обеспечения (замена серверов, компьютеров, модернизация линий связи), появление нового программного обеспечения, модернизация элементов ИУС и т. п. Это приводит к необходимости разработки архитектуры жизнеспособной ИУС с возможностью быстрого расширения и модернизации используемых элементов.

Архитектура ИУС должна обеспечивать масштабирование по целому ряду направлений: данные, функциональность, пользователи, — т. е. быть адаптивной по отношению к внешней среде. Под адаптивностью следует понимать способность ИУС самонастраиваться с учётом изменений во внешнем окружении. Для решения этих задач требуется сервис-ориентированная архитектура (СОА), которая обеспечит автоматическое поддержание эффективной работы и качества данных ИУС.

Сервис-ориентированная архитектура ИУС. Приведём формальное определение сервис-ориентированной архитектуры, данное специалистами корпорации *IBM* [3]: «СОА — это прикладная архитектура, в которой все функции определены как независимые сервисы с вызываемыми интерфейсами. Обращение к этим сервисам в определённой последовательности позволяет реализовать тот или иной бизнес-процесс».

С точки зрения разработчиков, ту же мысль можно передать несколько иными словами: «СОА — это компонентная модель, в которой разные функциональные единицы, называемые сервисами, взаимодействуют по сети с пользователями посредством интерфейсов. При этом интерфейсы должны быть нейтральными к специфике реализации сервисов, которые определяются аппаратной платформой, операционной системой, языком программирования. Подобная нейтральность обеспечивает универсальность взаимодействия сервисов в разнородной (гетерогенной) среде, а сервисы, интегрированные посредством таких интерфейсов, являются слабо связанными».

Идея СОА состоит в том, чтобы рассматривать ИУС как совокупность сервисов, которые выполняют единицу работы, и клиентов, которые обращаются к этим сервисам по простому документированному протоколу. В качестве сервисов можно выделять как повторяющиеся задачи внутри процессов [4], так и весь процесс.

Архитектура ИСУ предполагает использование структурных компонентов (СК), которые выполняют большую часть логики программы. Предназначение СК сводится к взаимодействию с базами данных и к обработке данных. Структурный компонент — довольно широкое понятие. Так можно назвать хранимые процедуры, функции баз данных, а также сами сервисы, если принимать к рассмотрению уровень подсистем.

Использование СК обеспечивает минимизацию изменений кода, так как, во-первых, способствует увеличению производительности процесса разработки приложений-сервисов, а, во-

вторых, позволяет разработчикам использовать унифицированные куски программного кода. Это даёт возможность уменьшить затраты на сопровождение ИУС. В результате использования компонентов сервисы становятся независимы от источника данных. Любые изменения источника данных никоим образом не влекут функциональных изменений сервиса, т. к. всю нагрузку по изменениям берут на себя СК, взаимодействующие с источником данных.

В общем случае архитектура ИУС является многоуровневой (рисунок 1). Уровни интерфейса и процессов взаимодействуют только с нижележащими уровнями. А на уровне функциональности, равно как и на уровне данных, взаимодействие может осуществляться между элементами уровня.

Развитие ИУС на основе сервис-ориентированного подхода рано или поздно может привести к тому, что сервисов (и, как следствие, структурных компонентов, которые они используют) становится достаточно много и без управления эффективность их использования снижается. Для решения этой проблемы необходимо использовать специализированный управляющий сервис (мета-сервис), основной задачей которого будет координация взаимодействия между структурными компонентами сервисов.

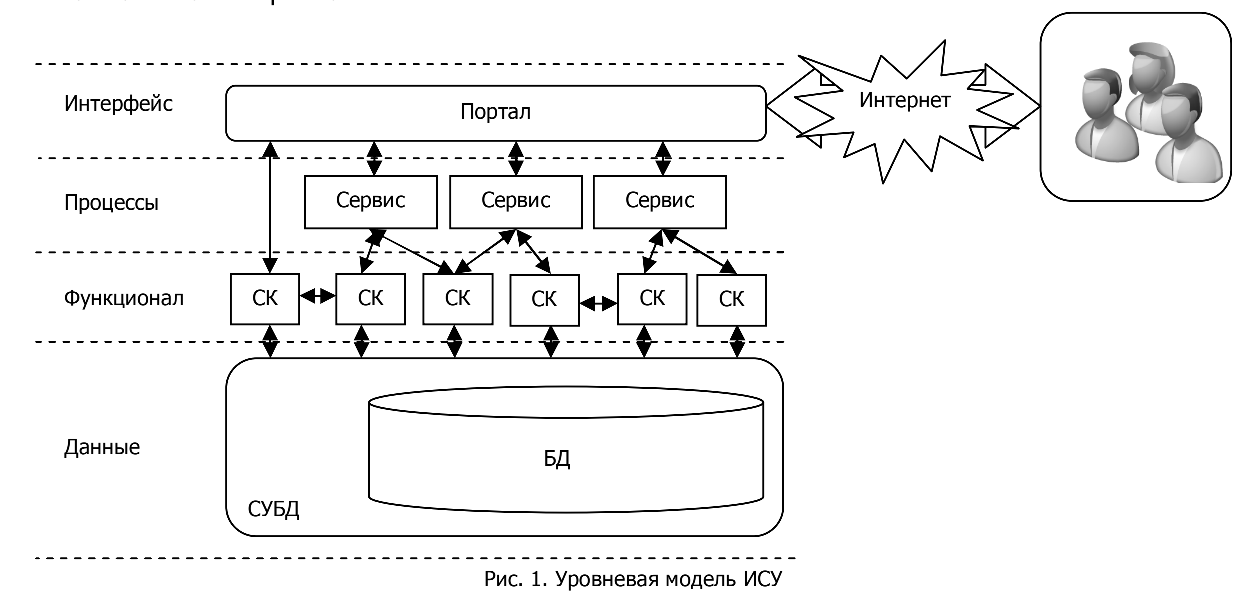


Рис. 1. Уровневая модель ИСУ

Проанализировав структурную модель ИУС с точки зрения сервис-ориентированной архитектуры, можно заключить следующее:

1) ИУС с сервис-ориентированной архитектурой S^{soa} включает множество структурных компонентов $S^C = \{S_n^C\}$ и множество сервисов $S = \{S_k\}$.

2) Структурные компоненты и сервисы находятся в таких отношениях, что каждый сервис для своего успешного функционирования требует определённого множества структурных компонентов.

3) ИУС с сервис-ориентированной архитектурой S^{soa} является динамической, т. е. для каждого определённого момента времени t вызывает некоторое множество сервисов $S_t = \{S_q\}$ и соответствующее им множество структурных компонентов $S_t^C = \{S_{qy}^C\}$, между которыми устанавливаются отношения зависимости.

4) Любая конфигурация ИУС с СОА включает сервис управления.

5) Будем считать, что качество функционирования ИУС с СОА (S^{soa}) в целом определяется качеством функционирования каждого сервиса в данный момент времени.

6) Каждый сервис $S = \{S_k\}$ и структурный компонент $S^C = \{S_n^C\}$ имеют множество требований $C = \{C_w\}$, критический уровень которых определяется соглашениями об уровне предоставления сервисов, стандартами, техническими регламентами, что и определяет качество функционирования S^{soa} в целом.

7) Существует множество регуляторов $A = \{A_u^w\}$ сервисов, когда каждому отклонению от требований поставлено в соответствие множество регуляторов $\sigma_u^w \to \{A_{ud}^w\}$.

Математическая модель мониторинга показателей структурных компонентов в сервис-ориентированной ИУС показывает, что функции F системы S^{soa} могут быть реализованы в момент времени t лишь при условии, что каждый структурный компонент обладает определёнными свойствами и параметрами, удовлетворяющими требованиям $C = \{C_w\}$.

$$F : ST^C \times H \times V \times C \times K \times M \to A,$$

где $ST^C = \{ST_{n1}^C\}$, $n1 = \overline{1, n1_0}$ — множество состояний элементов множества S^C; $S^C = \{S_n^C\}$, $n = \overline{1, n_0}$ — множество структурных компонентов; $H = \{H_g\}$, $g = \overline{1, g_0}$ — множество характеристик, используемых для описания структурных компонентов; $V = \{V_s\}$, $s = \overline{1, s_0}$ — множество значений показателей структурных компонентов; $C = \{C_e\}$, $e = \overline{1, e_0}$ — множество требований к структурным компонентам; $K = \{K_j\}$, $j = \overline{1, j_0}$ — множество критериев, используемых для оценки соответствия предъявляемым требованиям состояния и свойств структурных компонентов; $M = \{M_r\}$, $r = \overline{1, r_0}$ — множество возможных регуляторов (действий) для приведения в соответствие предъявляемым требованиям показателей сервисов; $A = \{A_k\}$, $k = \overline{1, k_0}$ — множество регуляторов, необходимых для устранения отклонений текущих значений показателей структурного компонента от требуемых.

Требуется в определённые моменты времени t выявлять для каждого показателя $V = \{V_s\}$ сервисов отклонение от соответствующего критического фактора, входящего в множество $C = \{C_w\}$, и запускать в действие множество регуляторов $A_w \to \{A_{u1}^w\}$ для приведения показателя сервиса в заданные границы. Эти задачи реализуют в ИУС сервисы мониторинга показателей структурных компонентов, входящие в состав сервисов управления СОА и управления информационной безопасностью.

Согласно принципу повторного использования, каждый структурный компонент может быть сервисом корпоративного уровня или предоставляться внешним потребителям, может быть использован как атомарный сервис и как элемент композитного сервиса. Поэтому любые неконтролируемые изменения в структурных компонентах могут привести к сбоям, к прерыванию или остановке процессов. Таким образом, в сервис-ориентированной ИУС мониторинг показателей структурных компонентов играет важную роль в управлении СОА.

Грамотное и полноценное управление невозможно без целостного понимания тех компонентов, или столпов, которые поддерживают зрелый СОА-проект. Конечно, СОА-проект можно строить только на основных механизмах (механизме) поддержки. Однако зрелый проект подразумевает больший уровень поддержки и рост уровня ответственности. Каждая предметная область требует разного подхода к управлению СОА, что соответствующим образом отражается на «политике». Поэтому необходимо по возможности производить унифицированное описание предметной

области в виде взаимодействующих объектов, имеющих более понятные для специалистов-предметников средства. Примером может служить подход, использующий метаописание предметной области — онтологическое моделирование предметной области, ставшее особенно популярным в связи с идей семантического *Web* [5], для которого разработан язык *OWL (Ontology Web Language)* [6].

Онтологический подход к описанию предметной области ИУС. Онтология является спецификацией концептуализации предметной области [7]. Онтологии содержат словарь понятий предметной области, описание их смысла, иерархию понятий, связанных друг с другом некоторым видом отношений [8]. Согласно онтологическому подходу, предметная область представляет собой совокупность взаимосвязанных понятий, имеющих некоторые атрибуты и свойства. Одной из сильных сторон онтологии является возможность создавать определённые пользователем отношения между классами [9].

Онтологии определяют термины для представления или описания некоторой предметной области. Онтологии включают определённые пользователем формальные базовые концепции предметной области и их взаимоотношения. Компоненты онтологии — это концепты, или *классы* (описывают понятия предметной области), *свойства* класса (описывают различные характеристики концепта) и *ограничения на свойства*.

Онтологии вместе с множеством экземпляров классов представляют собой базу знаний. Класс может иметь подклассы — это более специализированные концепты, чем надклассы. Свойства классов представляют собой либо атрибуты, либо отношения между классами. Собственно отношения являются свойствами классов. Согласно *OWL* [6], онтологии состоят из последовательности аннотаций, аксиом и фактов. Аннотации описывают некоторые сведения об онтологии. Факты представляют собой экземпляры классов (представители), типы или утверждения об эквивалентности или различии экземпляров. Аксиомы обеспечивают информацию о классах и свойствах. Каждая аксиома класса содержит коллекцию более общих классов, т. е. классов, являющихся базовыми к данному классу, и набор ограничений на свойства. Ограничения описывают надклассы свойств, сколько элементов допустимо и набор этих элементов. Также в аксиомах описывается эквивалентность классов и характеристики свойств.

Свойства могут иметь характеристики симметричности, транзитивности, функциональности и инверсной функциональности.

Отношение $P(X,Y)$ называется транзитивным, если для экземпляров понятий $\forall x \in \bar{X}, y \in \bar{Y}, z \in \bar{Z}$ выполняется соотношение:

$$p(x,y) \wedge p(y,z) \Rightarrow p(x,z),$$

где $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$ — множества экземпляров понятий X, Y, Z соответственно, $p(x,y)$, $p(y,z)$, $p(z,x)$ — экземпляры отношений $P(X,Y)$, $P(Y,Z)$, $P(X,Z)$ соответственно.

Отношение $P(X,Y)$ называется симметричным, если $\forall x, y$ выполняется условие $p(x,y) \to p(y,x)$.

Отношение $P\,(X,Y)$ называется функционально-эквивалентным (или функциональным), если $\forall x, y, z$ верно соотношение $p(x,y) \wedge p(x,z) \Rightarrow y = z$.

Отношения $P_1(X,Y)$ и $P_2(Y,X)$ называются инверсными, если $\forall x, y$ верно соотношение $p1(x,y) \Leftrightarrow p2(x,z)$. На отношения наследования наложена по умолчанию характеристика транзитивности, т. е. если класс *X* является подклассом *Y*, а класс *Y* является подклассом *Z*, то класс *X* является подклассом *Z*. Транзитивность также является характеристикой отношений агрегации, т. е. отношений «быть частью». Если класс *X* содержит класс *Y*, а класс *Y* содержит класс *Z*, то класс *X* содержит класс *Z*.

На свойства могут накладываться ограничения. Первый тип ограничений — ограничение типов данных: свойство имеет тип данных из некоторого ограниченного набора типов данных («целое», «беззнаковое целое», «строка», «число с плавающей точкой», «булевская переменная», «длинное целое» и т. п.). Второй тип ограничений обычно связан с отношениями. Это ограничения на допустимые значения экземпляра класса *Y* в отношениях *P* (*X*, *Y*). Допустимость значений определяется множеством существующих экземпляров класса $Y:\bar{Y}$. Ограничения могут накладываться и на мощность множества экземпляров отношений $P(X,Y):\left|P(X,Y)\right|$. Допускается указывать минимальное, максимальное и точное число в множестве. К ограничениям относится также требование на равенство экземпляров *Y* в отношениях *P* (*X*, *Y*) некоторым определённым экземплярам понятия *Y*. Допускается и предикат из ограничений.

Онтологии предлагается рассматривать как концептуальную основу декларативного описания понятий и семантического ядра, выполняющих описательные и управляющие функции в ИУС.

В рамках описания ИУС предлагается выделить три основные области (рисунок 2) понятий (онтологии): понятия предметной области, понятия области управления сервисами, понятия ИТ-области, — а также определить базовую, общую для них онтологию.

Общая онтология содержит понятие базового объекта и некоторые другие понятия, которые в равной степени принадлежат к любой из онтологий.

Онтологии предметной области выделяются в связи с тем, что ИУС предназначена для решения задач жизнедеятельности вуза в различных предметных областях. Поэтому ИУС должна оперировать понятиями предметной области.

Область ИТ-онтологий выделяется для реализации идеи отображения предметной области на область ИТ. Область управления процессами выделяется в связи с тем, что, во-первых, ИУС представляет собой автоматизированные сервисы, а, во-вторых, управление сервисами в равной степени относится к предметной области и к области ИТ.

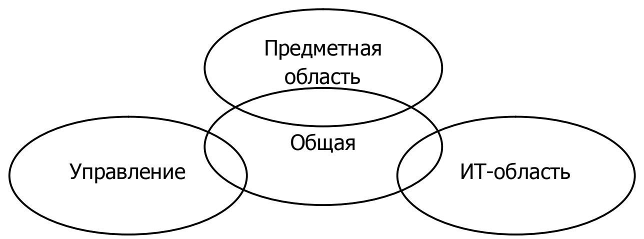


Рис. 2. Понятия в составе ИУС

Итак, ИУС можно представить как

$$IS = \{BS, SO, IT, R_s\} \quad (1)$$

где $BS = \{b_k, k = \overline{0, K-1}\}$ — понятия области управления сервисов (и отношений между ними), $SO = \{s_i\}, i = \overline{0, I-1}$ — множество понятий предметной области (в том числе отношений между понятиями), $IT = \{t_j\}, j = \overline{0, J-1}$ — множество понятий управления информационной средой и отношений между ними, $R_s = \{r_{ij}\}, i = \overline{0, I-1}, j = \overline{0, J-1}$ — отношения между понятиями предметной области, ИТ-области и области управления сервисами:

$$R_s = \{R_{SS}, R_{SI}, R_{OI}, R_{BS}\} \quad (2)$$

Здесь:

$$R_{SS} = \{BS \otimes S\} \quad (3)$$

описывает множество отношений между областью управления сервисами и понятиями предметной области — сервисы могут создавать, изменять, просматривать, удалять экземпляры понятий предметной области.

Множество

$$R_{SI} = \{BS \otimes IT\} \quad (4)$$

описывает отношения между областью управления сервисами и понятиями ИТ-области. Эти отношения включают назначения прав пользователей на выполнение процессов, отношения сервисов со структурными компонентами и т. п.

Множество

$$R_{OI} = \{SO \otimes IT\} \quad (5)$$

описывает отношения между понятиями предметной области и ИТ-области, т. е. отражение объектов реального мира на ИТ-объекты.

Отношения R_{BS} описывают отношения, которые определены между понятиями в любой онтологии.

Таким образом, чтобы разработать эффективно сопровождаемую и эксплуатируемую ИУС вуза, необходимо разработать модель системы, представляющую собой онтологическое описание понятий и отношения между понятиями, семантическое ядро (с возможностью расширения) и механизм трансформации онтологического описания.

Семантическое ядро представляет собой элементарную функциональность (структурные компоненты). Данная функциональность может использоваться в различных подсистемах ИУС, из структурных компонентов могут быть составлены другие, более сложные, функциональности. Всё, что может быть выделено как общая функциональность, которая используется в ИУС более одного раза, реализует семантическое ядро. К семантическому ядру также относятся процедуры интерпретации понятий и отношений между ними.

Семантическое ядро позволяет в небольшие сроки разрабатывать новые сервисы и изменять существующие.

В обобщённую функциональность ИУС входит управление пользователями и их правами, маршрутизация запросов, управление эффективной работой СК, интерпретация понятий и отношений между ними, создание и редактирование экземпляров понятий и отношений, а также механизм создания отчётов из различных систем на основе интерпретации понятий и отношений между понятиями. Онтологическое описание содержит онтологии предметных областей деятельности вуза, управления процессами и описание понятий ИТ-области, а также отношения между понятиями.

Структурная схема концепции ИУС вуза представлена на рисунке 3. В основе концепции лежит онтологический подход, обеспечивающий разработку ИУС с использованием онтологической модели. Элементарная функциональность, входящая в семантическое ядро, реализует управляющие функции ИУС (авторизацию, аутентификацию, извлечение экземпляра понятия и т. п.) и функциональность предметной области (расчёт штатного расписания, составление отчётов и т. п.).

Кроме этого в семантическое ядро входят компоненты интерпретации правил поведения системы.

Для реализации алгоритмов управления процессами онтологическая модель содержит онтологии предметных областей деятельности вуза, области управления процессами и ИТ-области, а также отношения между онтологиями.

Возможность изменения онтологической модели реализуется с помощью инструмента создания понятий, отношений между понятиями, ограничений на атрибуты и создание, редактирование и удаление экземпляров понятий.

Онтологическое описание предметной области, в свою очередь, является совокупностью описаний предметных областей каждого сервиса (рисунок 4).

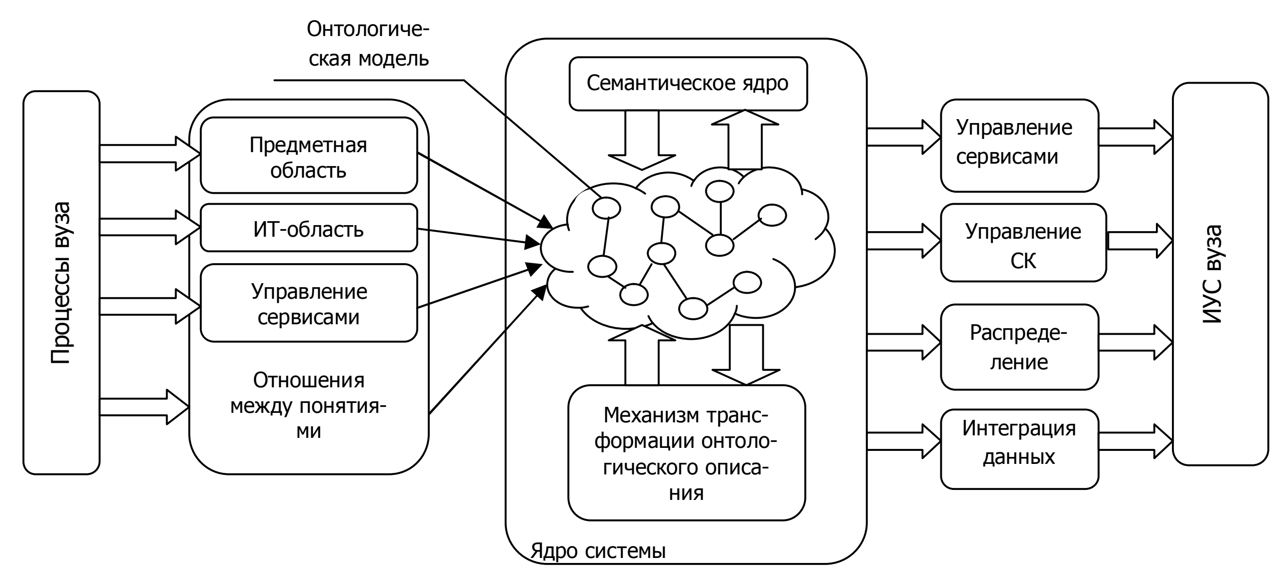


Рис. 3. Схема концепции ИУС вуза

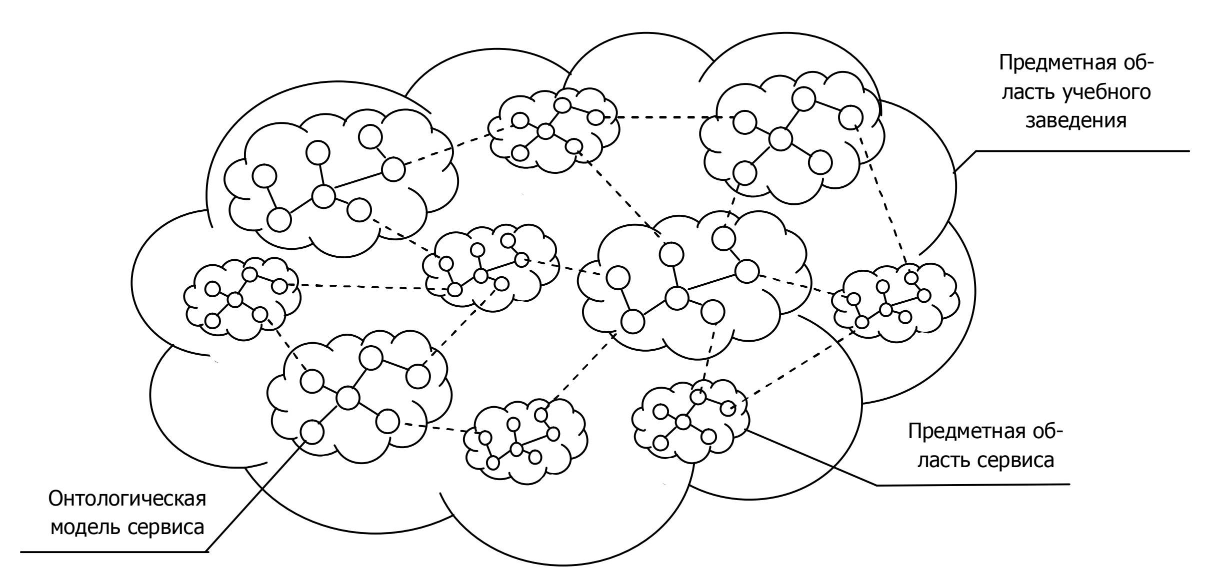


Рис. 4. Онтология предметных областей

Механизмы трансформации онтологических описаний представляют собой инструментарий, обеспечивающий создание новых и изменение существующих понятий, установление между ними связей, определение ограничений на атрибуты понятия, на отношения между понятиями и на их удаление. Кроме этого механизм онтологических описаний включает создание и редактирование экземпляров любого из существующих понятий и описание экземпляров отношений между понятиями.

Заключение. Предлагаемая архитектура построения ИУС вуза обеспечивает масштабирование по ряду направлений, что в свою очередь, позволяет говорить о построении адаптивной системы. Гибкие настройки системы позволяют адаптироваться к меняющимся условиям внешней среды. Использование сервис-ориентированной технологии даёт возможность автоматически поддерживать качество данных, а также снижает временные и материальные затраты. Таким образом, систему можно внедрять по мере автоматизации отдельных направлений деятельности.

Использование единообразного описания предметной области посредством онтологического моделирования обеспечивает высокую интеграцию данных при постепенной автоматизации. В итоге общая онтологическая модель является суммой онтологических моделей внедряемых сервисов и модели управления ими.

Библиографический список

1. Лодон, Дж. Управление информационными системами / Дж. Лодон, К. Лодон. — 7-е изд. — Санкт-Петербург: Питер, 2005. — 912 с.

2. Левенец, В. В. Один подход к проектированию и внедрению информационных систем (с применением методов КА и П) / В. В. Левенец // Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий (ТПВСИТ): тр. VIII Всерос. науч.-техн. конф. — Улан-Удэ: ВСГТУ, 2005. — С. 274—276.

3. Требования к отраслевой информационной системе сферы образования Российской Федерации // Телекоммуникации и информатизация образования. — 2002. — № 1. — С. 18—28.

4. Бездушный, А. А. Схемы метаданных ЕНИП: практика применения OWL в ЕНИП / А. А. Бездушный, А. Н. Бездушный, В. А. Серебряков // Информационное обеспечение науки. Новые технологии. — Москва, 2005. — С. 155—182.

5. Ландэ, Д. В. Основы интеграции информационных потоков: [монография] / Д. В. Ландэ. — Киев: Инжиниринг, 2006. — 240 с.

6. OWL Web Ontology Language. Overview [Электрон. ресурс] / The World Wide Web Consortium (W3C). — Режим доступа: http://www.w3.org/TR/owl-features/ (дата обращения: 10.03.12).

7. Gruber, T. R. A Translation Approach to portable ontology specification: Technical Report KSL 92-71 / T. R. Gruber. — Stanford: Stanford University; Knowledge Systems Laboratory, 1993. — 23 p.

8. Noy, N. F. Ontology development 101: A Guide to Creating Your First Ontology: Technical Report KSL 01-05 / N. F. Noy, D. L. McGuinness. — Stanford: Stanford University; Knowledge Systems Laboratory, 2001. — 25 p.

9. Hao, H. What is Service-oriented Architecture [Электрон. ресурс] / H. Hao. — Режим доступа: http://www.xml.com/pub/a/ws/2003/09/30/soa.html (дата обращения: 12.03.12).

Материал поступил в редакцию 30.08.2012.

References

1. Laudon, J., Laudon, K. *Upravleniye informatsionnymi sistemami.* [Management information systems.] 7th edition. St. Petersburg: Piter, 2005, 912 p. (in Russian).

2. Levenets, V.V. *Odin podkhod k proektirovaniyu i vnedreniyu informatsionnykh sistem (s primeneniyem metodov KA i P).* [One approach to information systems design and implementation (using concept analysis and design techniques).] *Teoreticheskiye i prikladnyye voprosy sovremennykh informatsionnykh tekhnologiy (TPVSIT): trudy VIII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii.* [Proc. VIII All-Russian sci. and tech. conf.: "Theory and application of information technologies".] Ulan-Ude: VSGTU, 2005, pp. 274–276 (in Russian).

3. *Trebovaniya k otraslevoy informatsionnoy sisteme sfery obrazovaniya Rossiyskoy Federatsii.* [Requirements for branch information system of education sphere in the Russian Federation.] *Telekommunikatsii i informatizatsiya obrazovaniya,* 2002, no. 1, pp. 18–28 (in Russian).

4. Bezdushny, A.A., Bezdushny, A.N., Serebryakov, V.A. *Skhemy metadannykh YeNIP: praktika primeneniya OWL v YeNIP.* [Metadata diagrams of CRIA (Common Research Information Area): practical application of OWL in CRIA.] *Informatsionnoye obespecheniye nauki. Novyye tekhnologii.* Moscow, 2005, pp. 155–182 (in Russian).

5. Lande, D.V. *Osnovy integratsii informatsionnykh potokov.* [Principles of information flows integration.] Monograph. Kiev: Inzhiniring, 2006, 240 p. (in Russian).

6. OWL Web Ontology Language. Overview. The World Wide Web Consortium (W3C). Available at: http://www.w3.org/TR/owl-features/ (accessed: 10.03.2012).

7. Gruber, T.R. A Translation Approach to portable ontology specification: Technical Report KSL 92-71. Stanford: Stanford University; Knowledge Systems Laboratory, 1993, 23 p.

8. Noy, N.F., McGuinness, D.L. Ontology development 101: A Guide to Creating Your First Ontology: Technical Report KSL 01-05. Stanford: Stanford University; Knowledge Systems Laboratory, 2001, 25 p.

9. Hao, H. What is Service-oriented Architecture. Available at: http://www.xml.com/pub/a/ws/2003/09/30/soa.html (accessed: 12.03.2012).

EDUCATIONAL INSTITUTION ADMINISTRATION AUTOMATION BASED ON ONTOLOGICAL MODELING AND SERVICE-ORIENTED ARCHITECTURE

A. A. Petrikin, I. V. Boguslavskiy
(Don State Technical University)

The current state of the national universities automation is touched upon. Some aspects of the automation being the key ones in building the information control system (ICS) are defined. The tasks solved by the introduction of ICS in the university are formulated. It is concluded that the service-oriented architecture (SOA) is best suited for the ICS. The formal definition of the service-oriented architecture is given, the benefits of the service-oriented technology introduction into the university information space are disclosed. For illustrative purposes, the multilevel university ICS diagram is presented in the graphical format. The service redundancy problem specific to the most information systems when in long-life operation, is also considered. As a solution to this problem, the use of the structural meta-service that coordinates the interaction between ICS structural components is proposed. The ICS mathematical model is suggested. Generalizing the ICS management policy based on SOA, the authors draw the conclusion on the necessity for the unified description of the domain. The benefits of the ontological approach for the domain conceptualization are considered. It is concluded that to develop the ontological description of the concepts and relations between concepts, the semantic kernel, and the mechanism of the ontological description transformation is essential. Both the university conception ICS diagram and the structure of the domain ontological model as the ontological model symbiosis of individual ICS services are presented in the graphical view.

Keywords: *automation, information management system, service, service-oriented architecture, structure, structural component, ontology, ontological modeling, domain, semantic kernel, mathematical model, unification, higher educational institution.*

УДК 621.9.06

Параметрические явления при управлении процессами обработки на станках

В. Л. Заковоротный, Фам Динь Тунг, Фам Тху Хыонг
(Донской государственный технический университет)

Рассматривается проблема потери устойчивости стационарных траекторий движения инструмента относительно заготовки с учётом периодического изменения параметров взаимодействующих подсистем и параметров динамической связи, формируемой процессом резания. Изменения параметров обусловлено периодическими вариациями жёсткости заготовки в направлении, нормальном к оси её вращения, а также вариациями припуска, периодическими с периодом её вращения. Показано, что периодические изменения параметров вызывают не анализируемые ранее механизмы потери устойчивости. Причём, потеря устойчивости в этом случае принципиально зависит от частоты вращения шпинделя. Кроме этого, потеря устойчивости связана также с кинематическими возмущениями, обусловленными периодической составляющей скорости продольной подачи суппорта. Приводятся примеры потери устойчивости в зависимости от параметров математических моделей системы резания.
Ключевые слова: *стационарная траектория движения, устойчивость, периодическое изменение параметров, параметрическое возбуждение.*

Введение. Одним из направлений повышения точности обработки на металлорежущих станках является управление процессом на основе изменения траекторий исполнительных элементов станка [1]. При этом используется системный анализ и синтез [1, 2], основанный на использовании асимптотического поведения системы, динамика которой описывается нелинейными дифференциальными уравнениями, имеющими малые параметры при старших производных. Таким образом, система состоит из двух иерархически связанных подсистем «медленных» и «быстрых» движений. Ранее рассмотрены проблемы асимптотической устойчивости траекторий в этих подсистемах [3]. При этом не учитываются изменения свойств подсистем, связанные с периодическими изменениями их параметров в математических моделях динамической связи, формируемой процессом резания. Однако, периодические изменения параметров, период повторения которых определяется частотой вращения шпинделя, естественны в рассматриваемой системе. Они могут вызывать параметрические явления, приводящие к потере устойчивости траекторий движения инструмента относительно заготовки. Именно проблеме потери устойчивости системы за счёт параметрического возбуждения стационарных траекторий посвящена настоящая статья.

Обоснование математической модели. Периодические изменения параметров линеаризованного в окрестности стационарной траектории уравнения динамики имеют две причины. Первая обусловлена периодическим изменением жёсткости в подсистеме заготовки, закреплённой в патроне. В этом случае, как показывают экспериментальные исследования, значения жёсткости подсистемы заготовки в плоскости, нормальной к оси её вращения, периодически изменяются по углу вращения заготовки (рис. 1). В статье мы ограничимся случаем, когда деталь закреплена в трёхкулачковом патроне. Периодические изменения жёсткости обусловлены тем, что при расположении заготовки против кулачка патрона жёсткость всегда больше, чем при её расположении между кулачками. При этом параметры жёсткости подсистемы заготовки, закреплённой в шпинделе в направлении, проиллюстрированном на рис. 1, и в ортогональном к нему направлении, имеют примерно неизменные распределения, но они сдвинуты по фазе для трёхкулачкового патрона на угол $\frac{2}{3}\pi$. Характерно, что уровень модуляции параметров жёсткости подсистемы обрабатываемой заготовки зависит от геометрии кулачков и способа закрепления детали в заднем

вращающемся центре. Уровень модуляции определяется параметром μ в выражении $c\left(1+\mu\cos 3\Omega t\right)$. Кроме этого, частота Ω — есть частота вращения шпинделя. Ранее показано [2], что параметры жёсткости подсистемы инструмента в двух ортогональных направлениях являются симметричными, поэтому матрицы жёсткости подсистемы заготовки можно представить в виде:

$$c=\begin{bmatrix} c\left(1+\mu\cos 3\Omega t\right) & 0 \\ 0 & c\left[1+\mu\cos\left(3\Omega t+\frac{3}{2}\pi\right)\right] \end{bmatrix}, \qquad (1)$$

так как при симметричной геометрии и условиях закрепления всякая ортогональная система координат является главной. Здесь жёсткость подсистемы заготовки рассматривается в плоскости, нормальной к оси вращения шпинделя, так как жёсткость в направлении оси вращения шпинделя обычно на порядок больше.

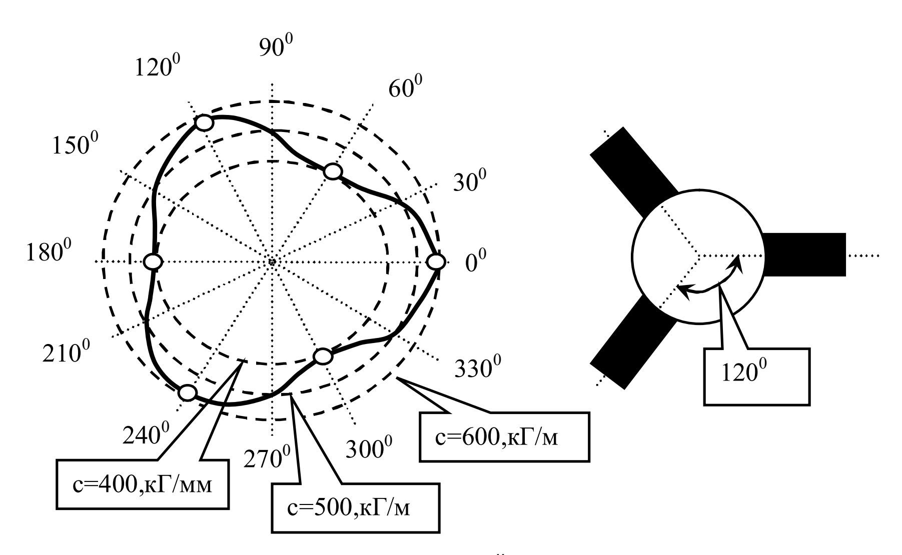


Рис. 1. Пример изменения жёсткости заготовки, закреплённой в трёхкулачковом патроне, при изменении угла поворота шпинделя

Вторая причина обусловлена погрешностями профиля поперечного сечения заготовки, вызванными неточностью установки заготовки в зажимном приспособлении и смещением оси заготовки и оси её вращения. Кроме этого, на периодические изменения припуска влияют радиальные биения шпинделя, которые, как показано в работе [4], также имеют круговые траектории в вариациях относительно идеальной оси вращения шпинделя. Все эти погрешности, представимые в виде ограниченного ряда Фурье, вызывают изменение элементов матрицы жёсткости процесса резания, регулярные по периоду вращения заготовки. Если полагать, что величина подачи на оборот в процессе резания остаётся неизменной, то, следуя работе [3], формирование двух составляющих сил резания, зависящих от деформационных смещений инструмента в направлении подачи, определяется выражением:

$$\begin{cases} F_{1,Д}\left(t\right)+T_1\dfrac{dF_1}{dt}=\chi_1 c_0\left\{1+\sum\limits_{i=1}^{i=N}\mu_i\cos\left[\left(2i-1\right)\Omega t\right]\right\}\Delta X; \\ F_{2,Д}\left(t\right)+T_2\dfrac{dF_2}{dt}=\chi_2 c_0\left\{1+\sum\limits_{i=1}^{i=N}\mu_i\cos\left[\left(2i-1\right)\Omega t\right]\right\}\Delta X; \\ F_{3,Д}\left(t\right)+T_3\dfrac{dF_2}{dt}=\chi_3 c_0\left\{1+\sum\limits_{i=1}^{i=N}\mu_i\cos\left[\left(2i-1\right)\Omega t\right]\right\}\Delta X, \end{cases} \qquad (2)$$

где $F_{1,Д}(t)$, $F_{2,Д}(t)$, $F_{3,Д}(t)$ — составляющие сил, обусловленные деформационными смещениями инструмента в направлении подачи, действующие соответственно в направлении, нормальном к образующей формируемой поверхности, в направлении скорости резания и скорости подачи; χ_1, χ_2, χ_3 — угловые коэффициенты ориентации силы резания в пространстве; $c_0 = \rho t_P$ — приведённая жёсткость процесса резания, рассматриваемая без учёта вариаций припуска (здесь t_P, ρ — глубина резания и давление стружки на переднюю поверхность инструмента); T_1, T_2, T_3 — постоянные времени, определяющие запаздывание сил при изменениях $\Delta X = X_3(t) - X_3(t-T)$. Здесь $X_3(t)$ — упругое деформационное смещение вершины инструмента в направлении подачи. Деформационное смещение заготовки в направлении подачи не рассматривается по указанным выше причинам.

Выражения (2) показывают зависимость формируемых сил резания от деформационных смещений с учётом вариаций припуска, периодических по периоду вращения заготовки. В частности, если рассматривается абсолютно круглое тело заготовки, ось которого смещена относительно оси вращения шпинделя, то

$$\begin{cases} F_{1,Д}(t) + T_1 \dfrac{dF_{1,Д}}{dt} = \chi_1 c_0 \left\{1 + \mu_1 \cos\left[\Omega t\right]\right\} \Delta x; \\ F_{2,Д}(t) + T_2 \dfrac{dF_{2,Д}}{dt} = \chi_2 c_0 \left\{1 + \mu_1 \cos\left[\Omega t\right]\right\} \Delta x; \\ F_{3,Д}(t) + T_3 \dfrac{dF_{2,Д}}{dt} = \chi_3 c_0 \left\{1 + \mu_1 \cos\left[\Omega t\right]\right\} \Delta x, \end{cases} \tag{3}$$

Для базовых динамических моделей, учитывающих деформационные смещения подсистем инструмента в пространстве и заготовки в плоскости, нормальной к оси её вращения, а также динамическую связь, объединяющую взаимодействующие подсистемы через процесс резания (2), (3), справедлива следующая система [3]:

$$\begin{cases} m_1 \dfrac{d^2 X_1^{(1)}}{dt^2} + h_1 \dfrac{dX_1^{(1)}}{dt} + c_1 X_1^{(1)} = F^{(1)}\left(X_1^{(1)}, X_2^{(1)}\right); \\ m \dfrac{d^2 X_2^{(1)}}{dt^2} + h \dfrac{dX_2^{(1)}}{dt} + c X_2^{(1)} = F^{(2)}\left(X_1^{(1)}, X_1^{(2)}\right), \end{cases} \tag{4}$$

где $X_1^{(1)}(t) = \left\{X_1(t), X_2(t), X_3(t)\right\}^T$ — деформационные смещения вершины инструмента в подвижной системе координат, привязанной к траектории движения суппорта; $X_1^{(2)}(t) = \left\{X_4(t), X_5(t)\right\}^T$ — деформационные смещения заготовки в точке контакта с ней вершины инструмента в плоскости, нормальной к оси вращения шпинделя; $m_1 = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_1 & 0 \\ 0 & 0 & m_1 \end{bmatrix}$, $h_1 = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{2,1} & h_{3,1} \\ h_{1,2} & h_{2,2} & h_{3,2} \\ h_{1,3} & h_{2,3} & h_{3,3} \end{bmatrix}$, $c_1 = \begin{bmatrix} c_{1,1} & c_{2,1} & c_{3,1} \\ c_{1,2} & c_{2,2} & c_{3,2} \\ c_{1,3} & c_{2,3} & c_{3,3} \end{bmatrix}$ — параметры динамической подсистемы инструмента (матрицы инерционных, диссипативных и упругих коэффициентов); c — матрица упругости подсистемы инструмента, представленная в виде (1); $m = \begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & m \end{bmatrix}$, $h = \begin{bmatrix} h & 0 \\ 0 & h \end{bmatrix}$ — матрицы инерционных и скоростных коэффициентов подсистемы заготовки;

$F^{(1)}=\{\rho S_P[t_P+\Delta t_P(t-T)]\}\{\chi_1,\chi_2,\chi_3\}^T+\{F_{1,Д}(X_3),F_{2,Д}(X_3),F_{3,Д}(X_3)\}^T$ — вектор — функции динамической связи, формируемой процессом резания. Очевидно, $F^{(2)}=\{\rho S_P[t_P+\Delta t_P(t-T)]\}\{\chi_1,\chi_2\}^T+$ $+\{F_{1,Д}(X_3),F_{2,Д}(X_3)\}^T$. Здесь $S_P=const$ — постоянное значение величины подачи суппорта в продольном направлении; $t_P=const$ — постоянное значение глубины резания в предположении, что вариации припуска в пределах оборота отсутствуют; $\Delta t_P(t-T)$ — периодическая по периоду вращения заготовки функция изменения припуска и (или) радиальных биений шпинделя; $F_{2,Д}(X_3)$ — функция приращения сил, представленная в виде (2).

Прежде всего дадим качественную характеристику системе (4). Ранее показано [2], что матрицы m_1, h_1, c_1, m, h и c являются симметричными и положительно определёнными. Более того, ориентация эллипсоидов жёсткости и диссипации в этих матрицах совпадают. Система (4) имеет стационарное решение, определяемое из условия $X_3(t)=X_3(t-T)$. Это установившиеся вынужденные колебания относительно некоторой точки $X^{(1)}$. Координата этой точки является решением системы (4) при правой части, равной $F^{(1)}=\rho S_P t_P\{\chi_1,\chi_2,\chi_3\}^T=const$ и $F^{(2)}=\rho S_P t_P\{\chi_1,\chi_2\}^T=const$. Это точка равновесия системы при отсутствующих вариациях припуска. Рассматриваемая система является линейной, для неё справедлив принцип суперпозиции. Поэтому в окрестности стационарной траектории формируются периодические движения $X^{(2)}(t)=X^{(2)}(t+T)$, определяемые внешними заданными периодическими силами $F^{(1)}=\rho S_P\Delta t_P(t-T)\{\chi_1,\chi_2,\chi_3\}^T$ и $F^{(2)}=\rho S_P\Delta t_P(t-T)\{\chi_1,\chi_2\}^T$. Обычно при определении влияния вариаций припуска на траекторию движений инструмента относительно заготовки ограничиваются рассмотрением этой составляющей. Однако, за счёт связи (2), входящей в правую часть системы (4), стационарная траектория может потерять устойчивость. Для этого необходимо рассмотреть уравнение в вариациях относительно траектории $X^{(*)}(t)=X^{(1)}+X^{(2)}(t)$.

После замены переменных $X(t)=X^{(*)}(t)+x(t)$ и для малых отклонений от стационарной траектории с учётом запаздывающих аргументов получаем уравнение в вариациях относительно стационарной траектории

$$m_\Sigma\frac{d^2x}{dt^2}+h_\Sigma\frac{dx}{dt}+c_\Sigma x=0, \qquad (5)$$

где $m_\Sigma,h_\Sigma,c_\Sigma$ — соответственно суммарные матрицы инерционных, скоростных и упругих коэффициентов динамической системы резания, рассматриваемой в вариациях относительно стационарной траектории, обусловленной вариациями припуска и изменениями жёсткости подсистемы инструмента.

$$m_\Sigma=\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & m_1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & m_1 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & m & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & m\end{bmatrix},$$

$$h_{\Sigma}=\left[\begin{array}{llll} h_{1,1}-\chi_1 T_1 \rho S_P & h_{2,1} & h_{3,1}-\chi_1 c_0 T_1\left\{1+\sum\limits_{i=1}^{i=N}\mu_i \cos\left[(2i-1)\Omega t\right]\right\} & \Leftrightarrow \\ h_{1,2}-\chi_2 T_2 \rho S_P & h_{2,2} & h_{3,2}-\chi_2 c_0 T_2\left\{1+\sum\limits_{i=1}^{i=N}\mu_i \cos\left[(2i-1)\Omega t\right]\right\} & \Leftrightarrow \\ h_{1,3}-\chi_3 T_3 \rho S_P & h_{2,3} & h_{3,3}-\chi_3 c_0 T_3\left\{1+\sum\limits_{i=1}^{i=N}\mu_i \cos\left[(2i-1)\Omega t\right]\right\} & \Leftrightarrow \\ -\chi_1 T_1 \rho S_P & 0 & -\chi_1 c_0 T_1\left\{1+\sum\limits_{i=1}^{i=N}\mu_i \cos\left[(2i-1)\Omega t\right]\right\} & \Leftrightarrow \\ -\chi_2 T_2 \rho S_P & 0 & -\chi_2 c_0 T_2\left\{1+\sum\limits_{i=1}^{i=N}\mu_i \cos\left[(2i-1)\Omega t\right]\right\} & \Leftrightarrow \end{array}\right.$$

$$\left.\begin{array}{lll} \Leftrightarrow & -\chi_1 T_1 \rho S_P & 0 \\ \Leftrightarrow & -\chi_2 T_2 \rho S_P & 0 \\ \Leftrightarrow & -\chi_3 T_3 \rho S_P & 0 \\ \Leftrightarrow & h-\chi_1 T_1 \rho S-cT\left(1+\mu\cos 3\Omega t\right)_P & 0 \\ \Leftrightarrow & -\chi_2 T_2 \rho S_P & h-cT\left[1+\mu\cos\left(3\Omega t+\frac{3}{2}\pi\right)\right] \end{array}\right],$$

$$c_{\Sigma}=\left[\begin{array}{llll} c_{1,1}+\chi_1 \rho S_P & c_{2,1} & c_{3,1}+\chi_1 c_0\left\{1+\sum\limits_{i=1}^{i=N}\mu_i \cos\left[(2i-1)\Omega t\right]\right\} & \Leftrightarrow \\ c_{1,2}+\chi_2 \rho S_P & c_{2,2} & c_{3,2}+\chi_2 c_0\left\{1+\sum\limits_{i=1}^{i=N}\mu_i \cos\left[(2i-1)\Omega t\right]\right\} & \Leftrightarrow \\ c_{1,2}+\chi_3 \rho S_P & c_{2,2} & c_{3,2}+\chi_2 c_0\left\{1+\sum\limits_{i=1}^{i=N}\mu_i \cos\left[(2i-1)\Omega t\right]\right\} & \Leftrightarrow \\ \chi_1 \rho S_P & 0 & \chi_1 c_0\left\{1+\sum\limits_{i=1}^{i=N}\mu_i \cos\left[(2i-1)\Omega t\right]\right\} & \Leftrightarrow \\ \chi_2 \rho S_P & 0 & \chi_2 c_0\left\{1+\sum\limits_{i=1}^{i=N}\mu_i \cos\left[(2i-1)\Omega t\right]\right\} & \Leftrightarrow \end{array}\right.$$

$$\left.\begin{array}{lll} \Leftrightarrow & \chi_1 \rho S_P & 0 \\ \Leftrightarrow & \chi_2 \rho S_P & 0 \\ \Leftrightarrow & \chi_3 \rho S_P & 0 \\ \Leftrightarrow & c\left(1+\mu\cos 3\Omega t\right)+\chi_1 \rho S_P & 0 \\ \Leftrightarrow & \chi_2 \rho S_P & c\left[1+\mu\cos\left(3\Omega t+\frac{3}{2}\pi\right)\right] \end{array}\right]$$

Если дополнительно учитывать вариации скорости подачи, например, обусловленные взаимодействием суппорта с процессом резания, система (5) ещё усложняется. Пусть задана траектория скорости подачи в виде $V_П(t)=V_{П,0}+\Delta V_П(t)$. Примем во внимание, что величина подачи определяется интегральным преобразованием

$$S_P(t)=\int\limits_{t-T}^{t}\left[V_{П,0}+\Delta V_П(t)\right]dt=S_{P,0}+\Delta S_P(t), \qquad (6)$$

где $\Delta S_P(t)=\int\limits_{t-T}^{t}\Delta V_П(t)dt$ — также T — периодическая функция.

Поэтому за счёт вариаций составляющей силы F_3 имеет место изменение скорости подачи. Причём, эти изменения имеют также период T . Поэтому в системе (5) образуются дополнительные составляющие в матрицах скоростных коэффициентов и упругости, периодические с периодом T . Наконец, имеют место периодические составляющие вариаций скорости подачи, не связанные с периодическими изменениями величины припуска. Они обусловлены, во-первых, особенностями взаимодействия суппорта с направляющими станка через узел трения. Во-вторых, они определяются периодически изменяющимися погрешностями изготовления зацеплений в механической части привода, то есть всеми факторами, влияющими на точность станка.

Важно подчеркнуть, что уравнение в вариациях относительно стационарной траектории (5) имеет периодические коэффициенты, влияющие на её устойчивость, то есть они характеризуют не рассматриваемый ранее в динамике станков механизм потери устойчивости, связанный с параметрическим возбуждением.

Анализ устойчивости системы резания с учётом формирования периодически изменяющихся коэффициентов. Если в системе (5) отсутствуют вариации припуска и жёсткость подсистемы заготовки по её периоду вращения остаётся неизменной, то мы получаем хорошо исследованный случай [3]. Потеря устойчивости в этом случае связана с формированием циркуляционных сил и преобразованием симметричной составляющей матрицы скоростных коэффициентов из положительно определённой в отрицательно определённую. Здесь сосредоточим своё внимание на влиянии периодически изменяющихся коэффициентов на устойчивость системы. Для этого необходимо воспользоваться теорией Флоке, включающей определение матрицы монодромии и анализ мультипликаторов системы (5), преобразованной к форме Коши.

Вначале положим, что периодические вариации припуска отсутствуют и жёсткость подсистемы инструмента на порядок превышает жёсткость подсистемы заготовки. Тогда система (5) преобразуется в две скалярных подсистемы вида:

$$\begin{cases} m\dfrac{d^2x}{dt^2} + h\dfrac{dx}{dt} + c\left(1+\mu\sin\omega t\right)x = -c_P y; \\ T\dfrac{dy}{dt} + y = x, \end{cases} \tag{6}$$

где c_P — жёсткость процесса резания; T — постоянная времени стружкообразования.

Уравнение (6) при $T=0$ есть уравнение Матьё — Хилла. В отличие от этого уравнения система при $\mu=0$ может потерять устойчивость равновесия в зависимости от соотношения параметров T и c_P (рис. 2).

Рассмотрим случай, когда при этих параметрах, но при $\mu=0$, система является асимптотически устойчивой. Как и при исследовании уравнения Матьё — Хилла, введём в рассмотрение дополнительный безразмерный параметр $\eta=\omega/\omega_0$, где $\omega_0=\sqrt{\left(c+c_P\right)/m}$ — собственная частота консервативной системы при $\mu=0$. На рис. 3 приведён пример изменения областей устойчивости в плоскости (μ,η), позволяющий определить в зависимости от μ критические диапазоны частот вращения шпинделя, при которых система теряет устойчивость за счёт параметрического возбуждения. Области неустойчивости на приведённой иллюстрации отмечены точечными кривыми. Приведённые три диаграммы отличаются значениями постоянной времени стружкообразования T , которые показаны на рис. 2 звёздами. Если $\mu=0$, то при всех рассматриваемых параметрах система является устойчивой. Однако по мере приближения параметров к границе области устойчивости, области параметрического возбуждения системы расширяются и формируются новые лепестки неустойчивости в области низких частот вращения шпинделя. Таким образом, области

неустойчивости системы за счёт параметрического возбуждения зависят не только от частоты вращении шпинделя и модуляции жёсткости, определяемой коэффициентом μ, но и от параметров динамической характеристики процесса обработки.

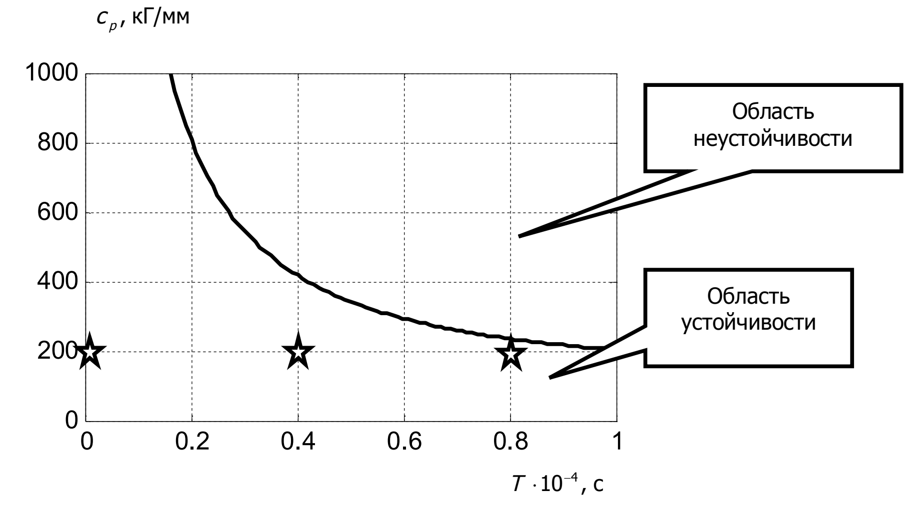
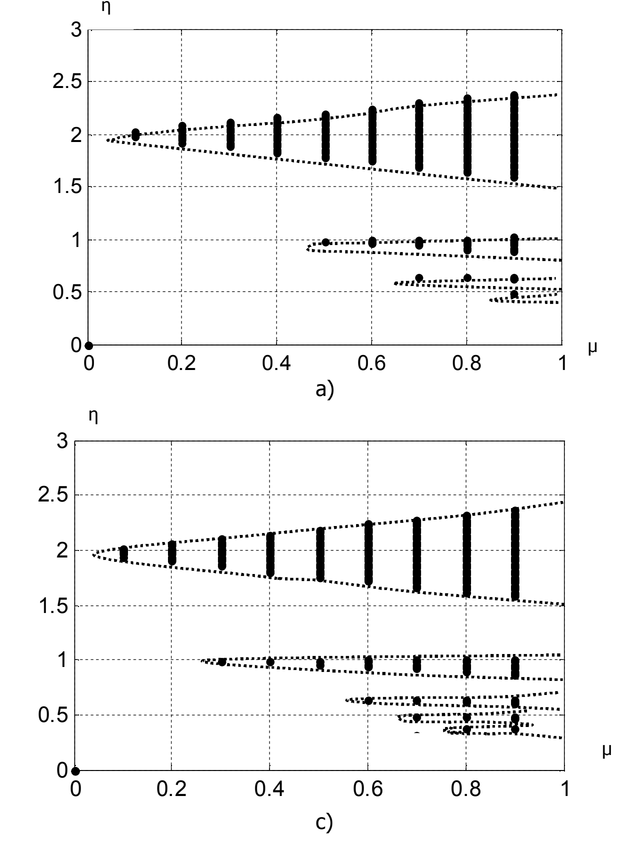


Рис. 2. Область устойчивости в плоскости параметров (T, c_p) при $\mu = 0$

По данным, приведённым в работах [4, 5], частоты первых форм колебаний шпиндельных узлов токарных станков лежат в диапазоне 120—180 Гц. Например, при собственной частоте первой формы колебаний шпинделя, равной $\omega_0 = 120$ Гц, на частоте вращения шпинделя 2400 об/мин система потеряет устойчивость за счёт параметрического возбуждения по мере увеличения T, соответственно при $\mu = 0,5$, $\mu = 0,38$ и $\mu = 0,24$.



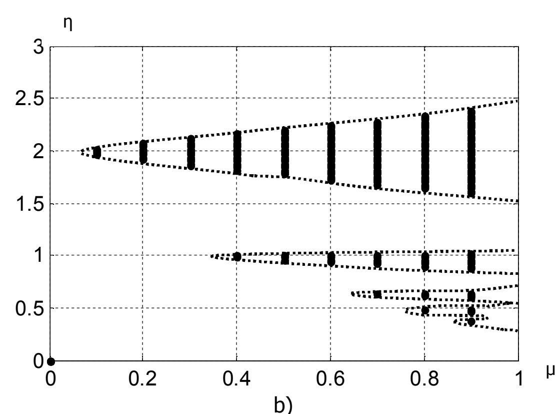


Рис. 3. Область параметрического возбуждения системы в плоскости параметров $(\mu, \eta = \omega/\omega_0)$: *a*— $c_p = 200$, кГ/мм, $T = 0$, с; *b*— $c_p = 200$, кГ/мм, $T = 0,4 \cdot 10^{-4}$, с; *c*— $c_p = 200$, кГ/мм, $T = 0,8 \cdot 10^{-4}$, с

Если учитывать динамические свойства подсистемы инструмента и принимать во внимание только первую гармоническую составляющую вариаций припуска, то области неустойчивости расширяются ещё в большей степени (рис. 4). Здесь μ_1, μ_2 — коэффициенты параметрической модуляции соответственно первой и третьей гармонических составляющих в соответствии с системой (5). Матрицы коэффициентов подсистем инструмента и заготовки приведены в табл. 1 и 2 соответственно. Параметры динамической характеристики процесса резания: $c_0 = 200$, кГ/мм; $\rho = 300$, кГ/мм^2; $\chi = \{\chi_1, \chi_2, \chi_3\}^T = \{0,50, 0,70, 0,51\}^T$. Частота первой формы колебаний, соответствующая подсистеме заготовки, равна 120 с$^{-1}$.

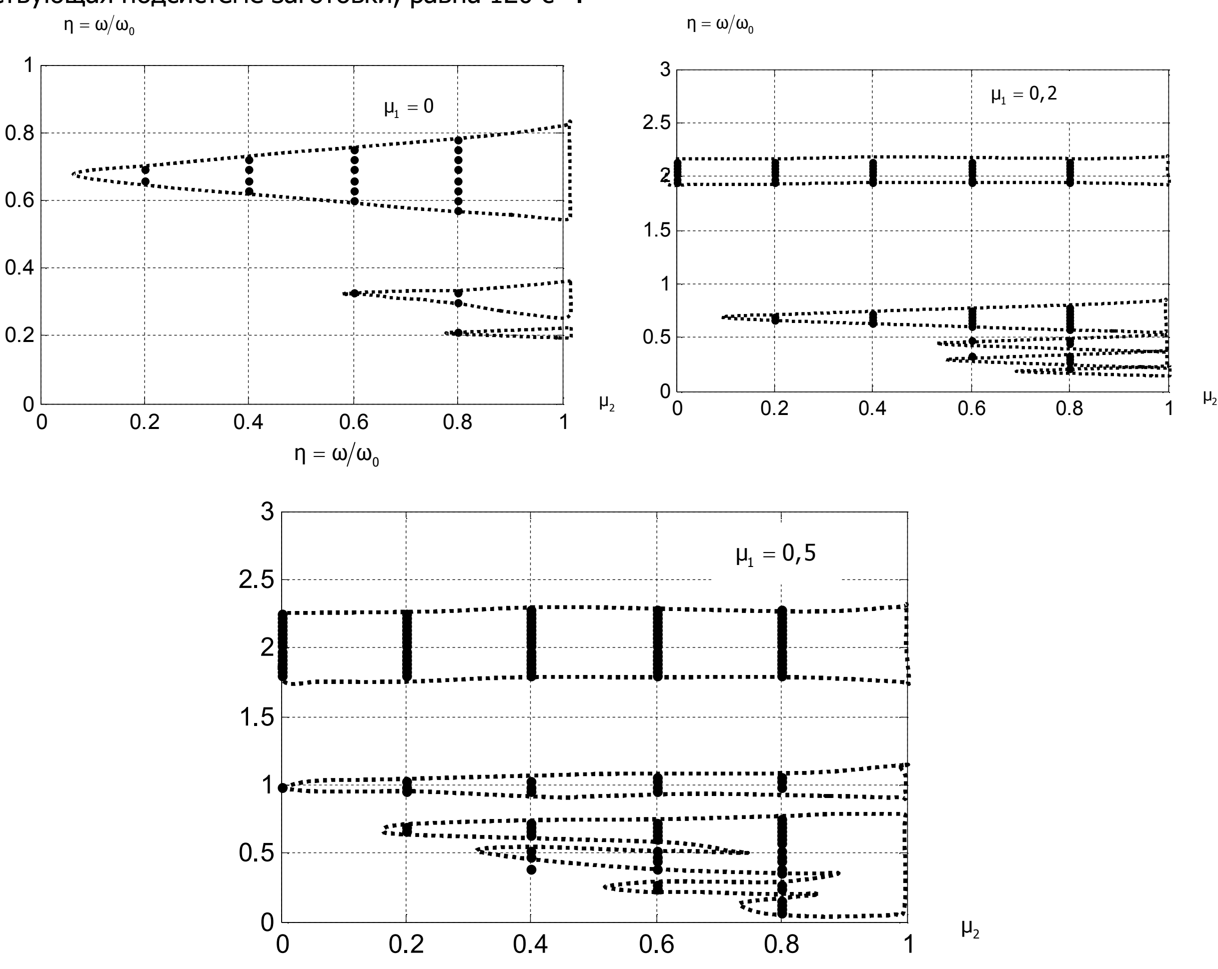


Рис. 4. Области параметрического возбуждения системы при учёте деформационных смещений инструмента и вариаций припуска

Таблица 1

Исходные матрицы динамической системы резания инструмента

$m \cdot 10^{-3}$, кГс^2/мм	h, кГс/мм	c, кГ/мм
$\begin{bmatrix} 0,079 & 0 & 0 \\ 0 & 0,079 & 0 \\ 0 & 0 & 0,079 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,0159 & 0,0032 & 0,0021 \\ 0,0032 & 0,0225 & 0,011 \\ 0,0021 & 0,011 & 0,032 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1000 & 200 & 120 \\ 200 & 2100 & 310 \\ 120 & 310 & 2500 \end{bmatrix}$

За счёт взаимного влияния отдельных форм колебаний на различных частотах, во-первых, область параметрического возбуждения колебаний и потери устойчивости стационарной траектории существенно расширяется, во-вторых, она смещается в сторону низких частот.

Таблица 2

Исходные матрицы динамической системы резания заготовки

m, кГс^2/мм	h, кГс/мм	c, кГ/мм
$\begin{bmatrix} 0,041 & 0 \\ 0 & 0,041 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,0159 & 0,0032 \\ 0,0032 & 0,0225 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 400 & 0,0 \\ 0,0 & 400 \end{bmatrix}$

Заключение. Периодические изменения параметров, как динамической характеристики процесса резания, за счёт вариации припуска или за счёт периодического изменения жёсткости подсистемы обрабатываемой заготовки вызывает на определённых частотах вращении шпинделя потерю устойчивости процесса резания. Причём, области потери устойчивости изменяются при варьировании параметров динамической связи, формируемой процессом резания. Этот механизм потери устойчивости до настоящего времени в рассматриваемой предметной области не принимался во внимание. Кроме этого, необходимо отметить, что при изучении кинематических возмущений, действующих на систему резания, необходимо учитывать, что эти возмущения всегда вызывают изменение параметров системы. Поэтому изучение параметрических явлений позволяет объяснить ряд известных экспериментально фактов, например, увеличение вибраций инструмента относительно заготовки в вариациях относительно точки равновесия после возрастания частоты вращения шпинделя выше некоторого критического значения. Приведённые результаты имеют принципиальное значение особенно в тех случаях, когда рассматривается скоростная обработка резанием. Приведённые результаты также показывают, что уменьшение точности станка, связанное, например, с радиальными биениями шпинделя, расширяет область неустойчивого резания. В существующих представлениях о динамике процесса резания кинематические и другие погрешности станка не влияют на устойчивость, и область устойчивости всегда расширяется по мере увеличения скорости резания, что противоречит известным экспериментальным результатам.

Библиографический список

1. Заковоротный, В. Л. Синергетическая концепция при построении систем управления точностью изготовления деталей сложной геометрической формы / В. Л. Заковоротный, М. П. Флек, Фам Динь Тунг // Вестник Дон. гос. тех. ун-та. — 2011. — Т. 11, № 10 (61). — С. 1785—1797.

2. Заковоротный, В. Л. Математическое моделирование и параметрическая идентификация динамических свойств подсистем инструмента и заготовки при точении / В. Л. Заковоротный, Нгуен Суан Тьем, Фам Динь Тунг // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. — 2011. — № 2. — С. 38—46.

3. Синергетический системный синтез управляемой динамики металлорежущих станков с учётом эволюции связей / В. Л. Заковоротный [и др.]. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2008. — 324 с.

4. Пуш, А. В. Шпиндельные узлы. Качество и надёжность / А. В. Пуш. — Москва: Машиностроение, 1992. — 288 с.

5. Кедров, С. С. Колебания металлорежущих станков / С. С. Кедров. — Москва: Машиностроение, 1978. — 199 с.

Материал поступил в редакцию 31.07.2012.

References

1. Zakovorotniy, V.L., Flek, M.P., Pham Dinh Tung. *Sinergeticheskaya kontseptsiya pri postroyenii sistem upravleniya tochnostyu izgotovleniya detaley slozhnoy geometricheskoy formy.* [Synergetic con-

cept in construction of accuracy control systems for manufacturing parts of complex geometric forms.] *Vestnik of Don State Tech. University,* 2011, vol. 11, no. 10, pp. 1785–1797 (in Russian).

2. Zakovorotniy, V.L., Nguyen Xuan Chiem, Pham Dinh Tung. *Matematicheskoye modelirovaniye i parametricheskaya identifikatsiya dinamicheskikh svoystv podsistem instrumenta i zagotovki pri tochenii.* [Mathematic simulation and parametric identification of tool and workpiece subsystems dynamic properties under cutting.] *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskiye nauki,* 2011, no. 2, pp. 38–46 (in Russian).

3. Zakovorotniy, V.L., et al. *Sinergeticheskiy sistemnyy sintez upravlyayemoy dinamiki metallorezhushchikh stankov s uchetom evolyutsii svyazey.* [Synergetic system synthesis of manageable dynamics of cutting machines with account for communications evolution.] Rostov-on-Don: DSTU Publ. Centre, 2008, 324 p. (in Russian).

4. Push, A.V. *Shpindelnyye uzly. Kachestvo i nadezhnost.* [Spindle units. Quality and reliability.] Moscow: Mashinostroyeniye, 1992, 288 p. (in Russian).

5. Kedrov, S.S. *Kolebaniya metallorezhushchikh stankov.* [Cutting machine vibrations.] Moscow: Mashinostroyeniye, 1978, 199 p. (in Russian).

PARAMETRICAL PHENOMENA UNDER ON-MACHINE PROCESS CONTROL

V. L. Zakovorotniy, Pham Dinh Tung, Pham Thu Huong
(Don State Technical University)

The problem on the stationary tool trajectories instability relative to the workpiece taking into account the periodic parameter variation of the interacting subsystems and of the dynamic coupling formed under cutting is considered. Parameter changes are caused by cyclic variations of the workpiece stiffness in the direction normal to the rotative axis, as well as variations of the allowance for machining periodic with the period of its rotation. It is shown that the periodic parameter changes induce the instability mechanisms not analyzed before. Moreover, in this case the loss of stability is basically dependent on the spindle speed. In addition, the instability is also associated with the kinematic perturbations caused by the periodic component of the support longitudinal feed velocity. Some examples of instability depending on the mathematical model parameters of the cutting system are given.
Keywords: *stationary motion trajectory, stability, periodic changes of parameters, parametric excitation.*

УДК 004.414.23:62-714:621.37

Проектирование радиатора в составе стойки диаграммообразующих устройств

Л. В. Глазунова, А. Н. Соловьёв
(Донской государственный технический университет)

Рассмотрены конструкторско-технологические приёмы по улучшению гидравлических и, соответственно, тепловых характеристик радиатора жидкостного охлаждения стойки диаграммообразующих устройств радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Рассматривается жидкостный метод охлаждения РЭА, позволяющий отводить тепловые потоки с небольших площадей. Осуществлено CAD-CAE моделирование течения охлаждающей жидкости в канале и исследование её гидродинамических характеристик при заданных параметрах охлаждающей жидкости и окружающей среды. Решены следующие задачи: построена объёмная модель стойки диаграммообразующего устройства, содержащая нетиповые конструктивные решения, выполнено математическое моделирование гидродинамических процессов, разработан метод повышения турбулентности потока, проведён численный анализ предложенной конструкции, сопоставлены результаты теоретического исследования и эксперимента. Предложенная конструкция технологична, в частности сборка изделия не вызывает особой сложности и позволяет использовать средства автоматизации, такие как электроинструмент.
Ключевые слова: *теплоотдача, турбулентность, потеря напора, гидравлическое сопротивление, охлаждение радиоэлектронной аппаратуры.*

Введение. Развитие радиоэлектронных устройств бортовой аппаратуры связано с постоянным ростом их тепловых мощностей, требований по увеличению функциональности и улучшению показателей надёжности при общей тенденции уменьшения их массогабаритных характеристик. Следствием этого является непрерывное усложнение конструктивно-технологических решений и алгоритмов функционирования. Важной задачей при разработке РЭА является обеспечение функциональных характеристик с эффективной компенсацией проявления побочных факторов работы РЭА.

При проектировании бортовой РЭА рассматривают 3 метода охлаждения [1]: воздушный, жидкостный и кондуктивный. Воздушный метод является менее затратным, но предполагает большие габариты и высокий уровень шума. Кондуктивный метод эффективен в малогабаритной аппаратуре, эксплуатирующейся в различных климатических условиях, но не эффективен при выделении большого теплового потока.

В работе рассмотрены конструкторско-технологические приёмы по улучшению гидравлических и, соответственно, тепловых характеристик радиатора жидкостного охлаждения стойки диаграммообразующих устройств. Принятые конструктивно-технологические решения соответствуют требованиям технического задания. Стандартным решением охлаждения РЭА является применение жидкостного метода охлаждения, позволяющего отводить тепловые потоки с небольших площадей [2]. При проектировании системы охлаждения одним из важных аспектов является потеря напора.

Цель работы — разработка радиатора стойки диаграммообразующего устройства, моделирование течения охлаждающей жидкости в канале и исследование её гидродинамических характеристик при заданных параметрах охлаждающей жидкости и окружающей среды.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие задачи: построена объёмная модель стойки диаграммообразующего устройства, содержащая нетиповые конструктивные решения, выполнено математическое моделирование гидродинамических процессов, разработан метод повышения турбулентности потока, сопоставлены результаты теоретического исследования и эксперимента.

Физическая и CAD-модель стойки диаграммообразующих устройств. Стойка состоит из двадцати четырёх диаграммообразующих устройств и радиатора. Радиатор — полая тонкостенная алюминиевая стойка, являющаяся базовой деталью. Функции радиатора — отвод тепла от контактной поверхности 24 диаграммообразующих устройств (далее блоков) (см. рис. 1), внутри которых располагаются энергонапряжённые элементы. Кроме этого, радиатор является несущей конструкцией блоков.

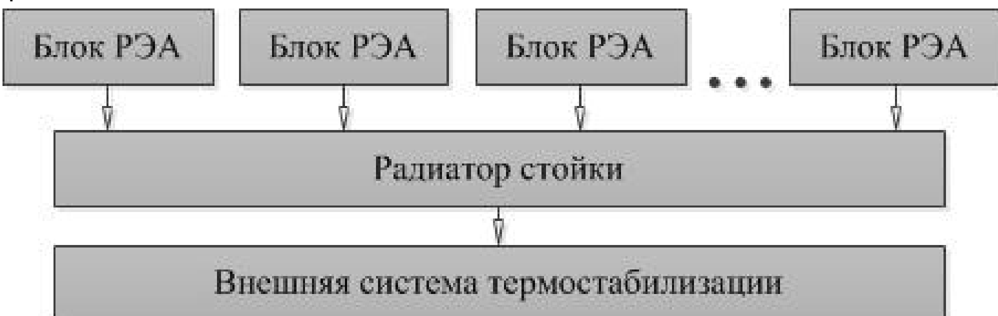


Рис. 1. Структурная схема отвода тепла от стойки

Проектирование трёхмерной модели радиатора (поз. 1, рис. 2) и охлаждаемых им блоков (поз. 2, рис. 2) выполнено в среде САПР для трёхмерного моделирования SolidWorks [3], что даёт возможность проработать компоновку, сделать конструкцию более технологичной и эргономичной.

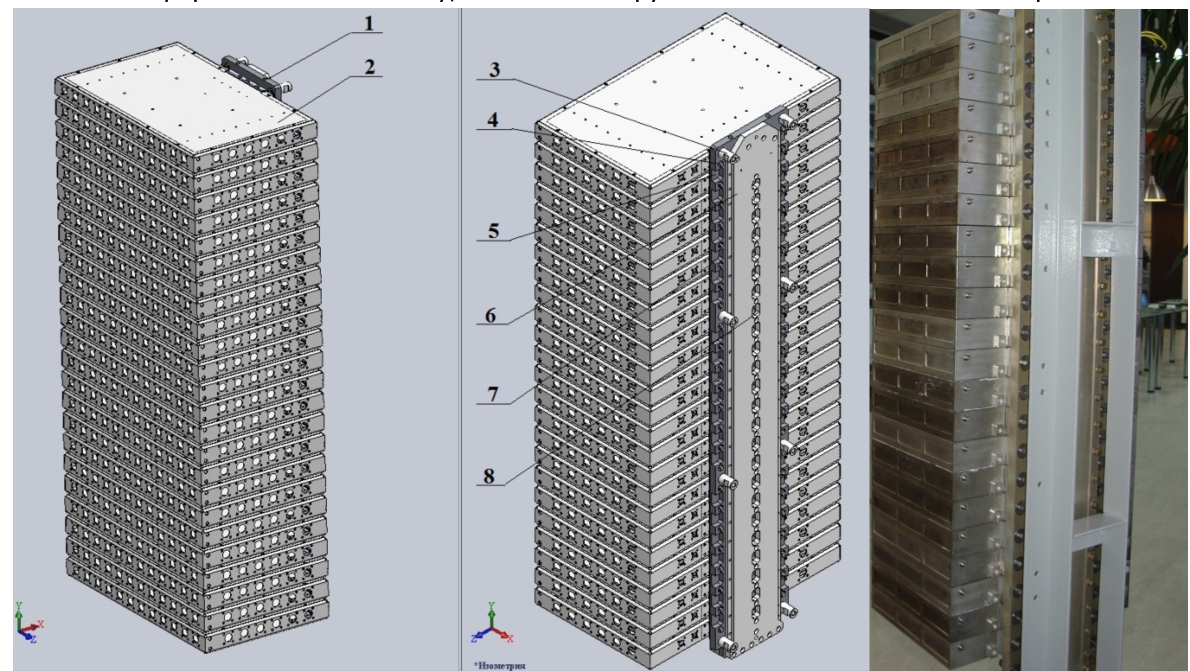


Рис. 2. Трёхмерная модель (слева и в центре) и реальная сборка радиатора с блоками РЭА (справа)

Для упрощения сборки и компоновки конструктив радиатора выполнен с минимальным количеством деталей. Крышка и корпус радиатора (поз. 5, 6, рис. 2) скреплены винтами. Штуцеры, к которым подключается трубопровод внешней системы термостабилизации, ввинчиваются в корпус радиатора. Игла для стравливания воздуха располагается в наивысшей точке системы.

Полости внутри радиатора являются охлаждающими П-образными каналами, по которым циркулирует рабочая жидкость. Особенностью геометрии канала является наличие на прямых участках канала продольных рёбер, выполненных на корпусе и крышке радиатора, увеличивающих полезную поверхность теплоотвода.

Блоки РЭА расположены относительно радиатора таким образом, чтобы исключить вероятность попадания охлаждающей жидкости на аппаратуру и, вследствие этого, выход её из строя. При этом обеспечивается возможность оперативно выполнить замену устройств без остановки функционирования системы охлаждения. Блоки РЭА крепятся к радиатору парой винтов с втулками (поз. 4, рис. 2), так, что панель, на которую в самом блоке отводится тепло, плотно примыкает к торцу радиатора. Полностью исключить зазор невозможно вследствие микроскопических неровностей поверхностей, поэтому для уменьшения теплового сопротивления стыки обрабатываются теплопроводящей пастой. Радиатор крепится к несущей конструкции с помощью четырёх пар титановых стоек (поз. 3, рис. 2). Для уменьшения массы в крышке и корпусе радиатора удалена часть материала, не участвующего в обеспечении прочностных характеристик и теплообмене (поз. 7, 8, рис. 2).

В стойке диаграммообразующего устройства применяется система охлаждения закрытого типа с принудительной циркуляцией охлаждающей жидкости. Вместимость системы составляет 3,7 литра. Условия подключения к внешней системе термостабилизации РЭА: температура на входе в радиатор 40 °C, расход жидкости 25 л/мин. Температура окружающего воздуха, при которой эксплуатируется изделие, варьируется от −50 °C до +65 °C. Атмосферное давление пониженное, до 0,2 атм. Поэтому выбрана незамерзающая при −50 °C жидкость — раствор этиленгликоля с водой ОЖ-65 (с антикоррозионными присадками) с хорошими относительно других антифризов теплофизическими показателями. Суммарная выделяемая блоками тепловая мощность достигает 1,2 кВт. По техническим условиям температура на поверхности блока, которая стыкуется с радиатором, не должна превышать 70 °C, потеря напора жидкости между входом и выходом из канала радиатора должна быть менее 0,2 МПа.

Нагрузки, которые приходится выдерживать радиатору, очень высоки. Одной из них является перепад температуры охлаждающей жидкости, которая варьируется в широком диапазоне значений: от −50 °C до +80 °C. Поэтому, для изготовления деталей радиатора применён материал АМг6 ГОСТ 4784-97, который, имея необходимые технические параметры, превосходит медные аналоги по весу, стоимости, герметичности, стойкости к перепадам давления, обладает достаточной прочностью.

Математическая модель процесса охлаждения. В результате расчёта необходимо оценить правомерность предположения о том, что при добавлении рёбер в канал увеличивается теплоотвод, и при этом гидравлическое сопротивление не превышает допускаемых значений. Расчёт гидравлического сопротивления радиатора проводится в среде SolidWorks Flow Simulation, в которой движение и теплообмен жидкости с твёрдыми телами моделируется с помощью уравнений Навье — Стокса [4], описывающих в нестационарной постановке законы сохранения массы, импульса и энергии жидкости. Кроме этого используется уравнения состояния компонентов жидкости, а также эмпирические зависимости вязкости и теплопроводности этих компонентов среды от температуры. Этими уравнениями моделируется режим течения жидкости, который определяется усреднённым значением числа Рейнольдса.

Система дифференциальных уравнений, описывающих исследуемый процесс теплоотдачи в рамках подхода Эйлера в декартовой системе координат (x_i, i = 1,2,3), имеет следующий вид:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho u_k\right) = 0,$$

$$\frac{\partial \left(\rho u_t\right)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k}\left(\rho u_i u_k - \tau_{ik}\right) + \frac{\partial P}{\partial x_t} = S_i,$$

$$\frac{\partial \left(\rho E\right)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k}\left(\left(\rho E + P\right)\right)u_k + q_k - \tau_{ik} u_i \right) = S_k u_k + Q_H,$$

где t — время, u — скорость жидкости, ρ — плотность жидкости, P — давление жидкости, S_i — внешние массовые силы, действующие на единичную массу жидкости (действие гравитации), E — полная энергия единичной массы жидкости, Q_H — тепло, выделяемое тепловым источником в единичном объёме жидкости, τ_{ik} — тензор вязких сдвиговых напряжений, q_k — диффузионный тепловой поток. Нижние индексы означают суммирование по трём координатным направлениям.

Тензор вязких сдвиговых напряжений определяется:

$$\tau_{ik} = \mu\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_i}\delta_{ij}\right) - \frac{2}{3}\rho k\delta_{ij},$$

где $\mu = \mu_j + \mu_i$, μ_j — коэффициент динамической вязкости, μ_i — коэффициент турбулентной вязкости, δ_{ij} — дельта-функция Кронекера ($\delta_{ij} = 1$ при $i = j$; $\delta_{ij} = 0$ при $i \neq j$), k — кинетическая энергия турбулентности. В соответствии с $k - \varepsilon$ моделью турбулентности, μ_i определяется через величины кинетической энергии турбулентности k и диссипации этой энергии ε:

$$\mu_i = f_\mu \frac{C_\mu \rho k^2}{\varepsilon},$$

где $f_\mu = \left[1 - \exp\left(-0,025 R_y\right)\right]^2 \cdot \left(1 + \frac{20,5}{R_T}\right)$; $R_y = \frac{\rho\sqrt{k}\,y}{\mu_i}$; $R_T = \frac{\rho k^2}{\mu_i \varepsilon}$, y — расстояние от поверхности стенки, C_μ = 0,09.

С помощью функции f_μ моделируется турбулентное течение. Кинетическая энергия турбулентности k и диссипация этой энергии ε определяются в результате решения соответствующих двух уравнений [4]. Для расчёта принято, что отношение средней пульсационной составляющей к среднемассовой скорости потока 2 % и длина наибольшего завихрения 0,00067005025 м, что соответствует следующим значениям: k = 1 Дж/кг и ε = 1 Вт/кг.

Диффузионный тепловой поток моделируется с помощью уравнения:

$$q_k = -\left(\frac{\mu_i}{\mathrm{Pr}} + \frac{\mu_t}{\sigma_c}\right) c_p \frac{\partial T}{\partial x_k}, \quad k = 1,2,3,$$

где σ_c = 0,9, Pr — число Прандтля, c_p — удельная теплоёмкость при постоянном давлении, T — температура жидкости. Расчёт будем производить для повышенной температуры окружающего воздуха, что соответствует критическому режиму работы.

Для нахождения искомого численного решения используется конечно-элементное разбиение по методу фиктивных областей, позволяющему рассчитывать течение в каналах сложной геометрии без усложнения алгоритма решения задачи. Формально расчётная сетка строится в параллелепипедообразной области. Принята минимальная длина стороны параллелепипеда, достаточная для достоверного описания модели, — 0,004 м.

Исследование процессов на основании модели. В результате расчёта получены следующие исследуемые значения: радиатором отведено 957 Вт, температура на стенке блока 77 °С. При этом потеря напора 0,025 МПа. Среднее число Рейнольдса равно 3000, что соответствует турбулентному течению. Следовательно, теплоотдача недостаточная, несмотря на то, что значение потери напора не превышает допустимого.

Расчёт показывает, что на течение жидкости влияют процессы, происходящие вблизи стенки. Начиная с некоторого расстояния от входа в тракт радиатора, жидкость по всему попе-

речному сечению канала испытывает тормозящее действие сил вязкости, происходит изменение температур, как по сечению, так и по длине канала.

Жидкость поступает из трубопровода внешней системы термостабилизации в штуцер, затем проходит через него и попадает в общий канал, который на расстоянии 0,031 м разделяется на четыре равных канала с помощью направляющих рёбер, ширина которых — 0,008 м, глубина — 0,0145 м. Расчёт показывает, что свойства всех четырёх потоков аналогичны. Рассмотрим течение одного из них. Вблизи стенки в потоке жидкости формируется пограничный слой, в котором температура и скорость жидкости варьируются в диапазоне 0,374…0,578 м/с^2, и по мере отдаления от стенок скорость увеличивается, и образуется турбулентное ядро. На расстоянии 0,05…0,06 м от начала общего канала толщина пограничного слоя достигает середины ширины канала — 0,004 м.

Для качественного анализа теплообмена при движении жидкости в канале используется формула [5]:

$$\alpha \approx \frac{\lambda}{\delta_п}\left(t_ж - t_с\right), \qquad (1)$$

где λ — теплопроводность жидкости; $\delta_п$ — толщина теплового пограничного слоя; $t_ж$ и $t_с$ — температуры в центре потока и вблизи стенки, соответственно.

Из выражения (1) следует, что для увеличения теплообмена необходимо уменьшить толщину пограничного слоя. Для этого в канале радиатора выполняются выборки (рисунок 3) и располагаются относительно оси *OX* на расстоянии 0,056 м от входа в канал радиатора, глубиной (радиусом) 0,005 м. При этом потоки жидкости, попадающие в выборки, меняют направление движения, перемешивая её. Кроме этого, полезная площадь поверхности теплообмена увеличивается с 0,229 м^2 до 0,437 м^2.

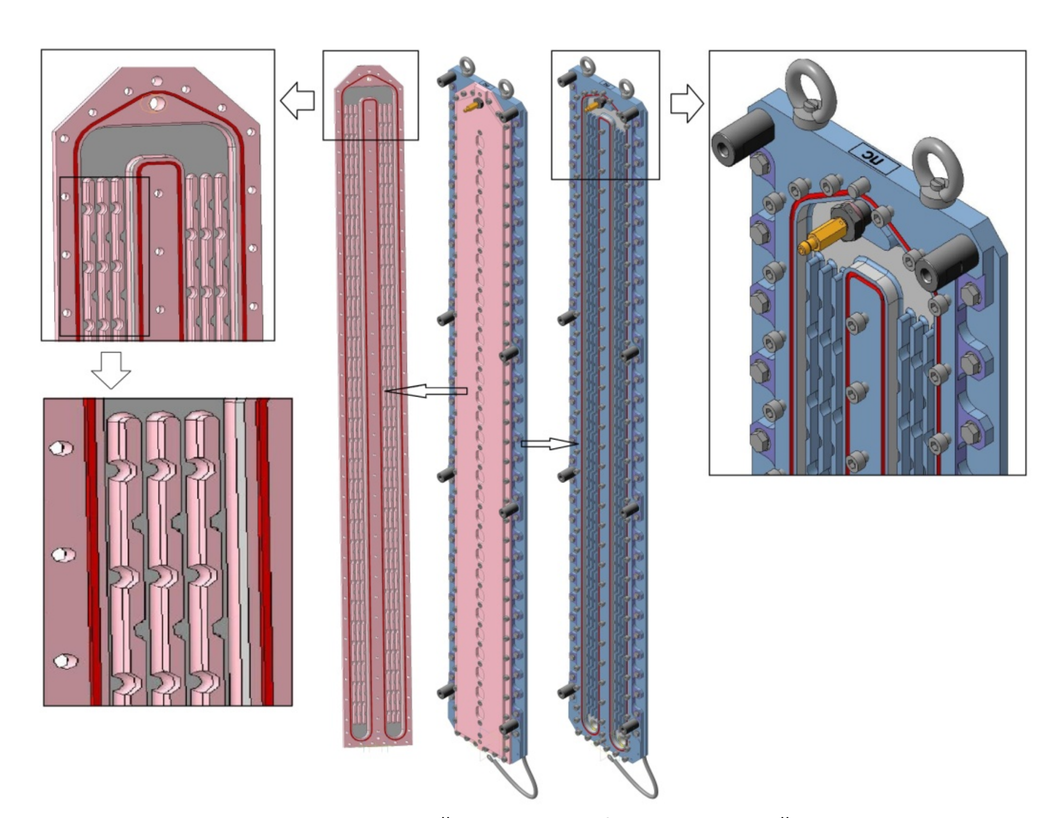


Рис. 3. Радиатор стойки диаграммообразующего устройства

Сравнивая эпюры скоростей, полученные в расчёте с учётом принятых решений, на расстоянии 0,056 м от входа в канал (см. рис. 4), можно сделать вывод, что добавление канавок меняет распределение скоростей жидкости в канале.

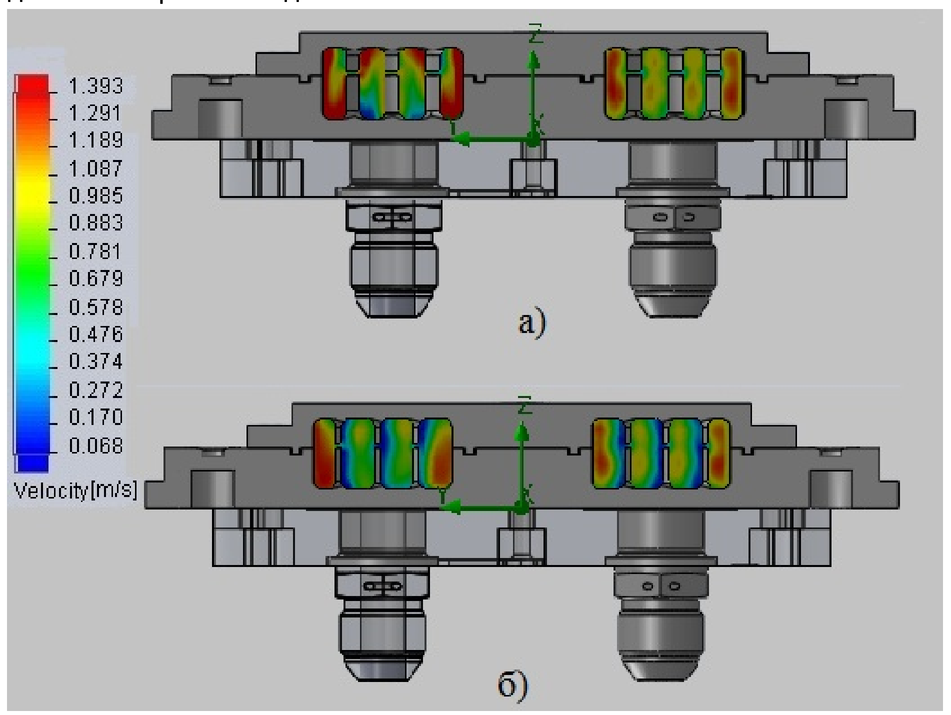


Рис. 4. Эпюра скоростей жидкости в сечениях канала радиатора:
а — без канавок на рёбрах, б — с канавками на рёбрах

На рисунке 5 показано изменение скорости в центре турбулентного ядра по длине канала. Скорость меняется при попадании жидкости в канавку. Таким образом, уменьшается толщина пограничного слоя, жидкость лучше перемешивается, и отводит большее количество тепла. В результате расчёта получены следующие значения: радиатором отведено 1185 Вт, температура на стенке блока 68 °С. При этом потеря напора 0,03 МПа. Результаты расчёта показывают, что теплоотдача эффективна, а значение потери напора не превышает допустимого.

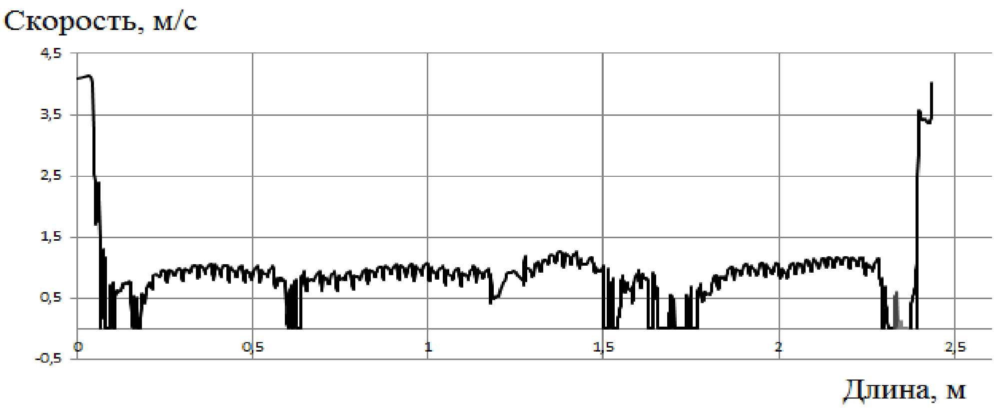


Рис. 5. Изменение скорости потока по длине канала

Для подтверждения правильности решения проведены испытания стойки и получены эмпирические характеристики потока жидкости. Испытания по определению количества отведённого тепла и потери напора проведены на экспериментальной установке, которая позволяла реализовать поток с расходом 25 л/мин при давлении жидкости на входе в канал до 1,0 МПа. Потеря

напора при давлении 0,75 МПа, соответствующем эксплуатационному, составила 0,03 МПа. Затем были проведены замеры потери напора при разных значениях давления. Данные опыты показали, что при любом давлении на входе в канал радиатора, которое реализовывала экспериментальная установка, потеря напора составляла 0,03 МПа. Отведённое тепло — 1180…1210 Вт. Следовательно, принятые конструктивно-технологические решения эффективны.

Для проверки герметичности радиатора и надёжной работы при возникновении гидравлического удара проведено с помощью гидравлического пресса испытание избыточным давлением, превышающим в несколько раз рабочее. При давлении 2,0 МПа в радиаторе отсутствовали падение давления и утечки. Таким образом, испытание на герметичность и гидравлический удар радиатор выдержал.

Заключение. Уравнениями Навье — Стокса с достаточной для практики точностью описали турбулентное течение. Полученные расчётные характеристики совпадают с экспериментальными и удовлетворяют требованиям технического задания.

Конструкция разработанного радиатора технологична. В процессе изготовления существует возможность производить обработку минимальным количеством инструмента и с минимальным количеством операций, повышая общую технологичность деталей [6]. В сборке используется стандартизированный крепёж, что улучшает ремонтопригодность. Используемые материалы обладают достаточной для данных условий эксплуатации прочностью, коррозионной стойкостью, лёгкостью, что немаловажно для бортовой аппаратуры. Сборка изделия не вызывает особой сложности и позволяет использовать средства автоматизации, такие как электроинструмент.

Применение разработанной системы позволяет: охлаждать бортовую аппаратуру, рассчитанную для работы в суровых климатических условиях, при пониженном атмосферном давлении и широком диапазоне температур −50…+65 °С; уменьшить массу на 30 %; сократить габариты блоков; повысить ремонтопригодность и обслуживание блоков РЭА.

Проведённые испытания стойки диаграммообразующих устройств с использованием имитатора системы жидкостного охлаждения позволяют утверждать, что применение разработанной системы охлаждения, основанной на жидкостном методе охлаждения, является эффективным способом отвода тепла и удовлетворяет требованиям технического задания.

Библиографический список

1. Волохов, В. А. Системы охлаждения теплонагруженных радиоэлектронных приборов / В. А. Волохов, Э. Е. Хрычиков, В. И. Киселёв. — Москва: Сов. радио, 1975. — С. 123—125.

2. Варламов, Р. Г. Справочник конструктора РЭА. Общие принципы конструирования / Р. Г. Варламов. — Москва: Сов. радио, 1980. — С. 399—406.

3. Дударева, Н. Ю. Самоучитель SolidWorks 2006 / Н. Ю. Дударева, С. А. Загайко. — Санкт-Петербург: БВХ-Петербург, 2006. — 216 с.

4. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А. А. Алямовский [и др.] // SolidWorks 2007/2008. — Санкт-Петербург: БВХ-Петербург, 2008. — С. 913—930.

5. Исаченко, В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел — Москва: Энергия, 1981. — 217 с.

6. Яновский, Г. А. Методика отработки конструкций на технологичность и оценки уровня технологичности изделий машиностроения и приборостроения / Г. А. Яновский. — Москва: Энергия, 1973. — 390 с.

Материал поступил в редакцию 20.06.2012.

References

1. Volokhov, V.A., Khrychikov, E.E., Kiselev, V.I. *Sistemy okhlazhdeniya teplonagruzhennykh radioelektronnykh priborov.* [Cooling systems for heat-loaded radio-electronic devices.] Moscow: Sovetskoye radio, 1975, pp. 123–125 (in Russian).

2. Varlamov, R.G. *Spravochnik konstruktora REA. Obshchiye printsipy konstruirovaniya.* [Handbook for designers of radio-electronic equipment. General principles of design.] Moscow: Sovetskoye radio, 1980, pp. 399–406 (in Russian).

3. Dudareva, N.Y., Zagayko, S.A. *Samouchitel SolidWorks 2006* [Self-teacher in SolidWorks 2006.] St. Petersburg: BVKh-Peterburg, 2006, 216 p. (in Russian).

4. Alyamovskiy, A.A., et al. *Kompyuternoye modelirovaniye v inzhenernoy praktike. SolidWorks 2007/2008.* [Computer simulation in engineering practice. SolidWorks 2007/2008.] St. Petersburg: BVKh-Peterburg, 2008, pp. 913–930 (in Russian).

5. Isachenko, V.P., Osipova, V.A., Sukomel, A.S. *Teploperedacha.* [Thermal transmission.] Moscow: Energiya, 1981, 217 p. (in Russian).

6. Yanovskiy, G.A. *Metodika otrabotki konstruktsiy na tekhnologichnost i otsenki urovnya tekhnologichnosti izdeliy mashinostroyeniya i priborostroyeniya.* [Fabricability development techniques and evaluation of engineering and instrumentation product workability level.] Moscow: Energiya, 1973, 390 p. (in Russian).

RADIATOR DESIGN AS PART OF BEAMFORMER RACK

L. V. Glazunova, A. N. Solovyev
(Don State Technical University)

The design-engineering techniques to improve hydraulic and, accordingly, thermal characteristics of the liquid cooling radiator of the communications-electronics equipment (CEE) beamformer rack are presented. The liquid cooling method of CEE permitting to remove heat flows from small areas is considered. CAD-CAE simulation of the cooling fluid in the channel is performed, and its hydrodynamic characteristics at the preset parameters of the coolant and the environment are studied. The following tasks are solved: a beamformer rack solid model involving non-type designs is built, the mathematical simulation of the hydrodynamic processes is done, the technique of increasing the flow turbulence is developed, the numerical analysis of the proposed design is presented, the results of the theoretical research and the experiment are compared. The suggested design is producible, particularly the product assembly is not difficult and permits the use of automation devices, such as power tools.
Keywords: *heat transfer, turbulence, pressure loss, hydraulic resistance, electronics cooling.*

УДК 685.562:621.7.06

Разработка процессно-ориентированной системы менеджмента качества малого предприятия станкостроения

Л. В. Борисова, Е. В. Димитров
(Донской государственный технический университет)

Рассматриваются вопросы построения функциональной модели малого предприятия в области станкостроения. Выделены особенности функционирования таких предприятий. Приведён краткий обзор современных методов описания процессов. Произведена идентификация процессов, представлено дерево узлов модели сети процессов, дана их общая характеристика. Предложены метамодель процессов верхнего уровня предприятия и контекстные диаграммы. Изучена бизнес-функция рассматриваемого предприятия. В соответствии с семантикой языка IDEF0 определены входные, выходные и управляющие стрелки, а также стрелки механизма. Практическое использование метамодели в качестве методологии по внесению изменений в организационную структуру предприятия обеспечит создание реальной системы менеджмента качества. Такой переход будет способствовать эффективному управлению процессами на всех этапах жизненного цикла продукции станкостроения и повышению качества продукции.
Ключевые слова: *станкостроение, процессная модель, малое предприятие.*

Введение. В настоящее время становится всё более актуальным внедрение систем менеджмента качества (СМК) на малых и средних предприятиях, в частности в области станкостроения. Как следствие, всё чаще возникает необходимость в применении процессного подхода — одного из основных принципов менеджмента качества. Такая система призвана решать следующие задачи:

— повышение эффективности действующего производства за счёт сокращения производственных и непроизводственных затрат;

— снижение серийности выпускаемой продукции, увеличение номенклатуры изготавливаемых изделий;

— сокращение сроков проектирования и внедрения в производство;

— повышение конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках за счёт улучшения технических характеристик выпускаемой продукции.

При разработке системы менеджмента качества, основанной на процессном подходе, центральными проблемами являются идентификация процессов, выбор способа их описания, а также интеграция процессов СМК и предприятия в единую взаимодействующую сеть. Упростить решение данной проблемы предлагается использованием типовой модели сети процессов для рассматриваемой предметной области — мелкосерийное производство станков и приспособлений. Методология создания типизированной модели предполагает анализ объекта моделирования посредством выделения функций организации, а также выбор способа описания процессов.

Краткая характеристика предметной области. Малые предприятия, выпускающие металлорежущие станки и приспособления, являются частью машиностроительного комплекса России. Они призваны обеспечивать работоспособное состояние машиностроения и служат связующим звеном между потребителями и производителями (отечественными и зарубежными).

Характерными направлениями деятельности таких предприятий являются:

— изучение потребностей рынка в зоне своей деятельности;

— информирование потребителей о предлагаемой технике и услугах, условиях оплаты, утилизации, обеспечения запчастями;

— рекламирование собственной продукции и услуг;

— сбор и обработка информации о качестве функционирования изделий;

— осуществление досборки, предпродажного обслуживания, доставки потребителям;

— устранение неисправностей, выполнение регламентного технического обслуживания (ТО);

— восстановление работоспособности изделий.

Современные металлорежущие станки представляют собой мехатронные системы. Особенности их проектирования, изготовления и эксплуатации определённым образом влияют на структуру предприятия и организацию производства. В частности, можно выделить следующие аспекты.

— Возрастающее использование принципа «модульности» при проектировании «механики» станочных систем даёт возможность широко использовать стандартные серийные узлы и в некоторой степени стабилизировать стоимость изготовления станков.

— Динамично развивается электроника. Как следствие, растёт скорость обработки и объём обрабатываемой информации.

— Совершенствуется программное обеспечение. Чётко прослеживаются тенденции в повышении уровня интеллектуализации мехатронных систем. Это способствует повышению точности обработки изделий и позволяет нивелировать уровень профессиональной подготовки операторов [1].

Выбор способа описания процессов. Процессы можно описывать, применяя различные подходы, методологии [2, 3]. Снизить трудоёмкость этой процедуры позволяет использование таких программных продуктов, как *Rational Rose, BPwin, ERwin, Design/IDEF, Design/CPN, S-Designor, Visible Analyst Workbench, EasyCASE, Silverrun, Westmount I-CASE, ARIS.*

Одним из распространённых и зарекомендовавших себя аналитических методов является методология функционального моделирования IDEF0 (Integration Definition for Function Modeling). Преимущество её использования — возможность получить наглядную, целостную картину функционирования организационно-экономических и производственно-технических систем применительно к определённой предметной области с помощью графического языка. Модель описывает функции, потоки различной природы, последовательности операций в процессах, их взаимодействие. Всё это может быть представлено серией контекстных диаграмм, создаваемых декомпозицией крупных структур.

Основополагающими в семантике языка IDEF0 являются понятия преобразующего блока и стрелок. Блоки представляют функции организации (действия, процессы, операции), показывая, какие процессы должны выполняться. Стрелки — это направленные линии, состоящие из одного или нескольких сегментов, которые моделируют открытый канал или канал, передающий данные или материальные объекты от источника, к потребителю. Выделяются 4 класса стрелок: входная, выходная, управляющая, стрелка механизма.

Декомпозиция блоков приводит к упрощению модели. В результате каждый функциональный блок на диаграмме имеет более простую структуру, чем функциональный блок, представляющий процесс в целом [4].

Иерархия процессов предприятия. Под идентификацией понимают построение модели процессов и её использование для нахождения оптимальных параметров процесса [5]. Для идентификации процессов (т. е. построения модели процессной структуры «Как должно быть») в качестве базовой выбрана методология функционального моделирования. Начальным этапом является построение дерева узлов, изображающего все уровни структурной декомпозиции. На рис. 1 представлен фрагмент дерева узлов. Здесь А0 — осуществлять деятельность в области металлообработки; А1 — управлять организацией; А2 — развивать внешнеэкономические связи; А3 — производить изделия, услуги; А4 — реализовывать изделия, услуги; А5 — обеспечивать деятельность организации.

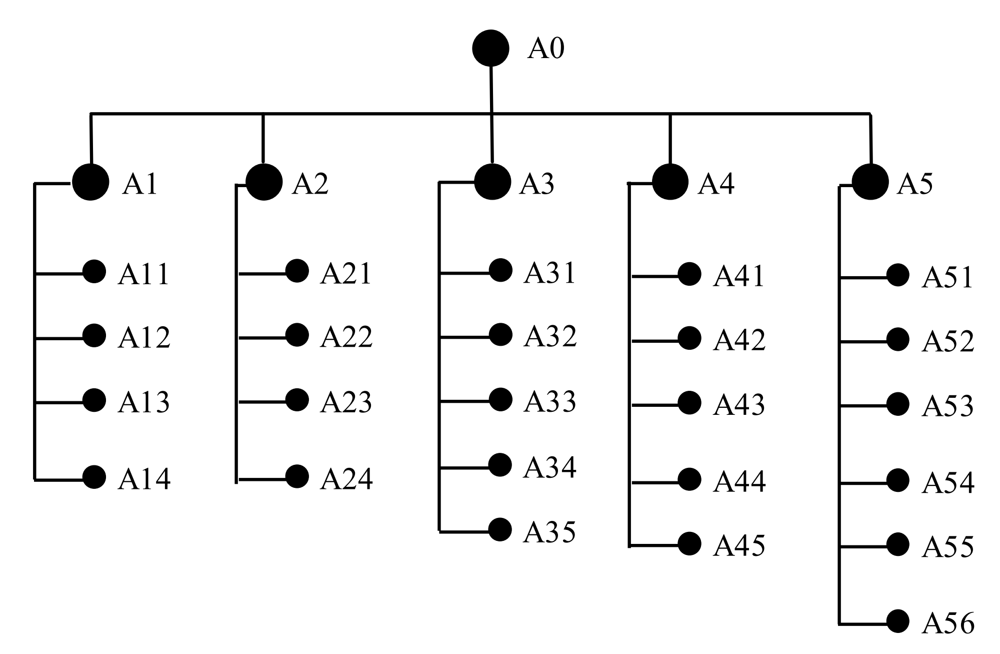


Рис. 1. Фрагмент дерева узлов модели сети процессов 1-го и 2-го уровней

На втором уровне модели представлены следующие процессы.

А11 — разработать нормативное обеспечение деятельности; А12 — разработать стратегию и планировать показатели эффективности деятельности предприятия; А13 — разработать инновационные направления деятельности; А14 — управлять финансовой деятельностью.

А21 — осуществлять поиск партнёров за рубежом; А22 — создавать представительства за рубежом; А23 — арендовать производственные мощности за рубежом; А24 — подключать зарубежных партнёров к единому информационному пространству организации.

А31 — проводить технологическую экспертизу продукции; А32 — планировать работу операторов (станков, участков); А33 — обеспечить снабжение производства инструментом, заготовками и оснасткой; А34 — изготовить деталь (обработать деталь, полученную от заказчика); А35 — занести информацию о заказе в библиотеку деталей (систему управления потоками заказов).

А41 — заключать контракты; А42 — обеспечивать выполнение заказов; А43 — урегулировать рекламации с соблюдением прав и обязанностей сторон; А44 — осуществлять послепродажное обслуживание; А45 — оказывать консультационные услуги.

А51 — поддерживать бесперебойное функционирование мощностей предприятия, развивать инфраструктуру; А52 — разрабатывать кадровую политику, осуществлять надзор за деятельностью персонала; А53 — создавать условия для бесперебойной работы внутренних информационных каналов; А54 — управлять охраной внешней и производственной среды; А55 — повышать эффективность финансовой деятельности предприятия; А56 — осуществлять мониторинг конкурентоспособности предприятия на рынке для оперативной корректировки стратегии предприятия и ценовой политики.

На третьем уровне данной модели представлены следующие процессы.

А111 — разработать уставные документы; А112 — разработать внутренние регламенты; А113 — разработать должностные инструкции.

А121 — разрабатывать маркетинговую стратегию; А122 — прогнозировать показатели экономической деятельности; А123 — рассчитывать показатели качества.

А141 — планировать годовой бюджет; А142 — снижать стоимость капитала за счёт повышения стоимости активов; А143 — обеспечивать доступ к рынку капитала; А144 — разрабатывать

инвестиционно-привлекательные проекты, в том числе и инновационные; А145 — определять структуру и направления использования собственного и заёмного капиталов.

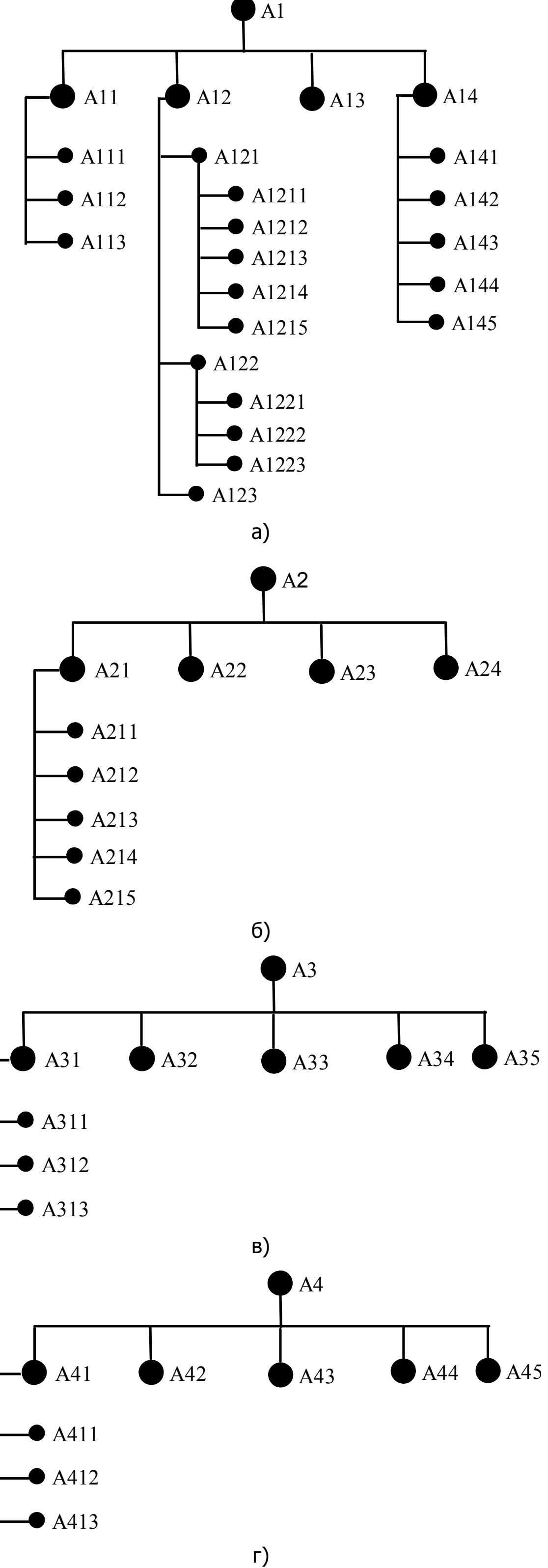


Рис. 2. Фрагменты дерева узлов модели сети процессов 2-го, 3-го и 4-го уровней: а — для функций управления организацией; б — развития внешнеэкономических связей; в — производства изделий, услуг; г — реализации изделий, услуг

A211 — участвовать в международных конференциях по торгово-экономическим вопросам; A212 — заключать внешнеторговые контракты с учётом норм международного права; A213 — обеспечить в рамках контракта более позднее совершение платежа; A214 — стимулировать надлежащее выполнение экспортёром своих обязательств по контракту; A215 — хеджировать риски, связанные с внешнеэкономической деятельностью.

A311 — принимать решение о возможности изготовления; A312 — планировать выполнение технологического процесса (планирование работы технологов); A313 — разрабатывать пакеты технологической документации.

A411 — принимать решения об одобрении сделок; A412 — достигать максимальной степени взаимовыгодного сотрудничества сторон в среднесрочной и долгосрочной перспективе; A413 — обеспечивать юридически правильное оформление и сопровождение сделки.

На четвёртом уровне модели представлены следующие процессы.

A1211 — проводить маркетинговые исследования; A1212 — осуществлять поиск поставщиков и потребителей; A1213 — рассчитывать себестоимость по каждому технологическому процессу; A1214 — разрабатывать ценовую политику; A1215 — планировать рекламные акции.

A1221 — рассчитывать показатели операционной деятельности; A1222 — рассчитывать финансовые показатели; A1223 — рассчитывать эффективность инвестиционной деятельности.

Достаточно сложной и объёмной представляется модель сети процессов обеспечения деятельности организации (рис. 3).

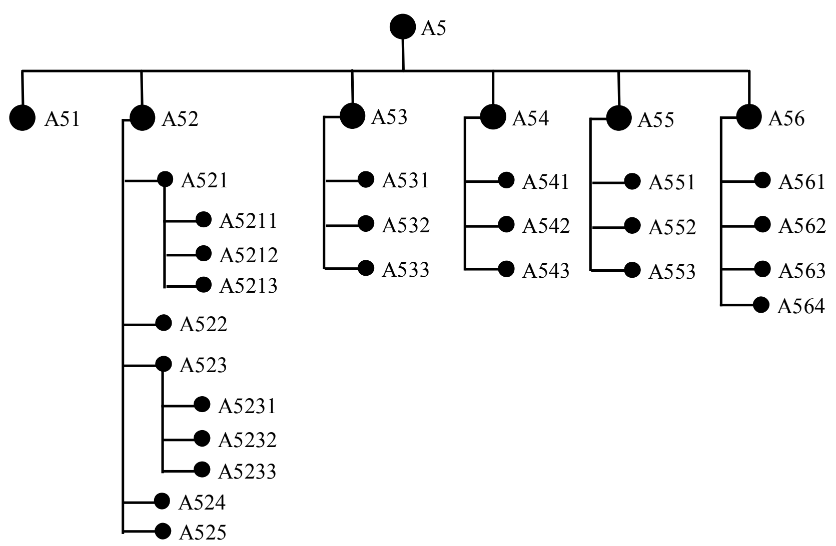


Рис. 3. Фрагменты дерева узлов модели сети процессов 2-го, 3-го и 4-го уровней для функций обеспечения деятельности организации

Здесь на третьем уровне представлены следующие процессы.

A521 — организовывать и проводить конкурсы на замещение вакантных должностей в компании; A522 — специализировать деятельность работников; A523 — согласовывать интересы руководства и персонала; A524 — повышать уровень активов компании (как показателя профессионализма сотрудников); A525 — совершенствовать организационную структуру предприятия.

A531 — обеспечивать двухстороннее движение оперативных данных о ходе реализации стратегии между генеральным директором и персоналом; A532 — предоставлять индивидуальные отчёты; A533 — разрабатывать программное обеспечение, обслуживающее работу информационных каналов.

A541 — соблюдать требования нормативов к организации труда; A542 — соблюдать требования экологической политики; A543 — предупреждать угрозу изъятия капитала, поглощения.

А551 — анализировать рентабельность деятельности; А552 — снижать риски, сопровождающие деятельность предприятия; А553 — совершенствовать финансовый механизм.

А561 — оценивать эффективность сотрудничества с контрагентами; А562 — анализировать удовлетворённость потребителей; А563 — осуществлять комплекс мероприятий, направленных на укрепление репутации бренда, торговой марки; А564 — анализировать преимущества конкурентов.

На четвёртом уровне представлены следующие процессы.

А5211 — взаимодействовать с организациями по трудоустройству; А5212 — разрабатывать тесты, отвечающие требованиям к уровню знаний принимаемых специалистов; А5213 — обеспечивать эффективную работу HR-менеджера компании.

А5231 — устанавливать персональные оклады; А5232 — разрабатывать системы премирования и мотивации; А5233 — урегулировать конфликты.

Рассмотрим бизнес-функцию малого предприятия — получение прибыли за счёт производства продукции металлообработки и предоставления услуг. На контекстной диаграмме верхнего уровня объект моделирования представлен единственным блоком с граничными стрелками (рис. 4).

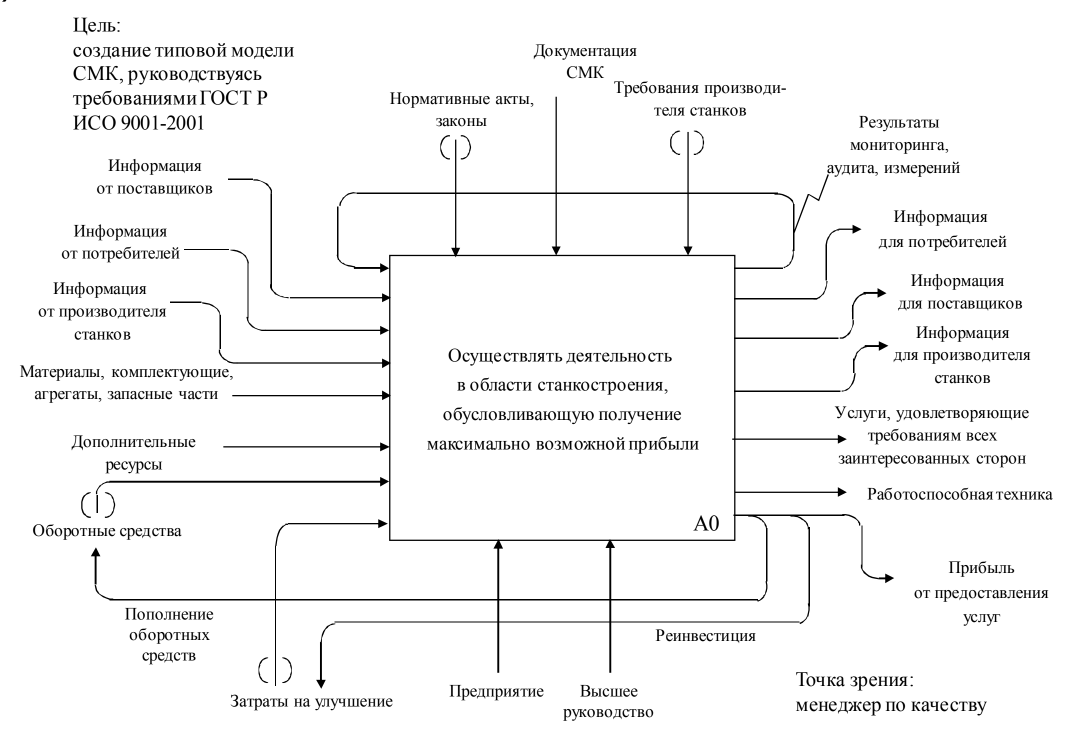


Рис. 4. Контекстная диаграмма верхнего уровня иерархии А0

1. Входами блока являются:

• информационные потоки (информация от потребителей, производителя станков, поставщиков);

• материальные потоки (агрегаты, материалы, комплектующие, запасные части, вспомогательные ресурсы);

• финансовые потоки (оборотные средства, затраты на улучшение качества).

2. Выходами блока являются:

• информационные потоки (информация для потребителей, производителя станков, поставщиков);

• материальный поток (работоспособная техника);

• финансовый поток (прибыль от предоставления услуг);

• услуги, удовлетворяющие требованиям всех заинтересованных сторон;

• обратная связь, необходимая для успешного управления процессами (результаты мониторинга, аудита, измерения).

3. Управление блоком осуществляется с помощью:

• действующего законодательства и обязательных для исполнения нормативных актов;

• требований производителя станочной техники (необходимость предоставления информации об отказах, нормативы времени на ремонт, документация по предпродажному техническому облуживанию и т. д.);

• документации СМК.

4. Преобразование входа в выход осуществляют организационно-техническая система (предприятие с его инфраструктурой и материально-технической базой), а также высшее руководство, обеспечивающее единство целей и направление деятельности.

Стрелки, помещённые в круглые скобки, означают, что данные, выраженные этими стрелками, не рассматриваются при декомпозиции диаграммы А0.

На рис. 5 представлена контекстная диаграмма 1-го уровня. С целью упрощения понимания диаграммы некоторые потоки не показаны, они раскрыты на следующих уровнях декомпозиции.

Основную группу составляют процессы, относящиеся к управлению всей организацией (блок А1). Эта группа процессов доминирует над остальными, вырабатывая управляющие воздействия.

Входная информация, поступающая на блок А1, обеспечивает возможность эффективного и результативного управления предприятием.

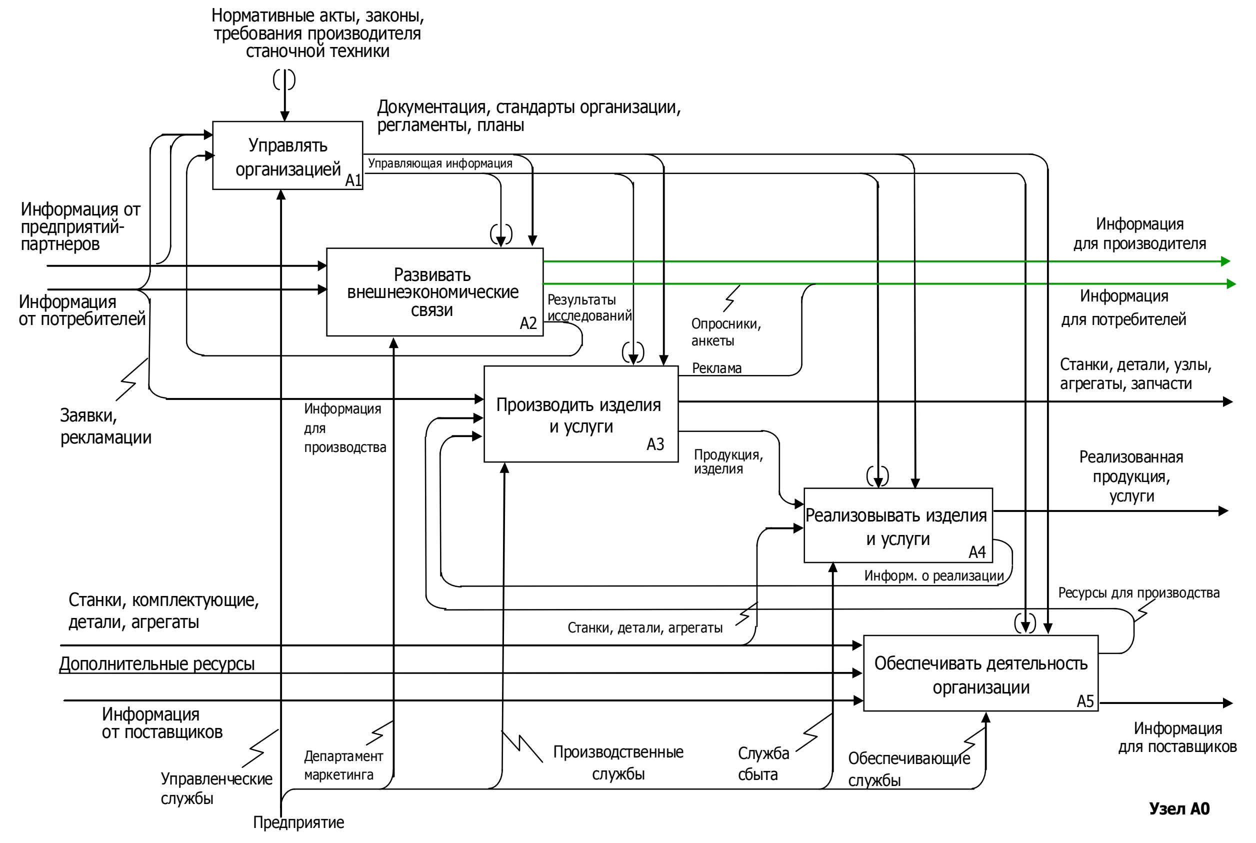


Рис. 5. Контекстная диаграмма А0

Оценить работу СМК помогает, в частности, информация о том, как потребители воспринимают продукцию, соответствует ли она их требованиям. Сведения, полученные с помощью мониторинга и измерения показателей качества, демонстрируют способность процессов обеспечивать достижение запланированных результатов. Маркетинговые исследования дают представление о состоянии и перспективах развития рынков станкостроения и металлообработки, об услугах (в том числе в области профессиональной подготовки), о требованиях потребителей, степени их удовлетворённости. Эти данные позволяют выработать стратегию проникновения на рынок, ценовую политику.

Организация и производитель металлообрабатывающей техники могут провести совместные исследования и в результате получить новые сведения о качестве и функционировании изделия, ремонтопригодности, трудоёмкости обслуживания, сроках службы отдельных узлов и деталей. Эта информация позволяет сформулировать предложения по улучшению конструкции станков.

Результаты внутреннего аудита дают ответы на следующие вопросы.

— Соответствует ли СМК требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2008 и требованиям, разработанным организацией?

— Результативно ли внедрена СМК?

— Поддерживается ли СМК в рабочем состоянии [6]?

Интеграционные процессы и глобализация требуют развития внешнеэкономической деятельности предприятий. Блок А2 включает в себя процессы построения внешнеторговых связей. Заключение соответствующих контрактов обеспечивает организации доступ к продукции и производственным мощностям других стран. Нельзя не отметить влияние таких процессов на экономику страны в целом, особенно на формирование здорового конкурентного рынка в области станкостроения. Являясь участником международных экономических отношений, предприятие обеспечивает себе конкурентное преимущество, расширяет как территориальные, так и производственные возможности. Соответствующие процессы базируются на строгом соблюдении условий внешнеторговых контрактов и обеспечении надёжности зарубежных партнёров. Эффективно организованная деятельность предприятия на рынке международного капитала может являться базой для динамичного развития производства.

Процессы производства изделий и услуг (блок А3) описывают такие задачи, как сборка, применение электроники, развитие программного обеспечения, создание макетов оборудования и обучающих стендов.

В блок А4 включены процессы, направленные на реализацию продукции и услуг. Здесь речь идёт об особенностях взаимодействия с потребителями — как в нашей стране, так и за рубежом.

В блоке А5 представлены обеспечивающие процессы, нацеленные на выработку механизмов функционирования производства и реализации продукции, а также на формирование инфраструктуры предприятия.

Условия правильного функционирования процессов представлены в иерархически выстроенной системе документации СМК, включающей:

— документально оформленные политику, цели, задачи организации в области качества;

— руководство по качеству;

— описание структуры организации и её подразделений;

— положения о подразделениях, должностные инструкции;

— документацию по процессам, необходимую для планирования, обеспечения, управления и улучшения качества;

— обязательные процедуры, предусмотренные ГОСТ Р ИСО 9001-2008;

— записи;

— результаты аудитов;

— перечни основных потребителей услуг, поставщиков сырья, материалов, комплектующих и т. д.;

— документы о качестве предоставляемых услуг.

Заключение. Процессный подход предполагает применение специальных средств описания и классификации процессов, составляющих деятельность организации. Использование принципов системного и процессного подходов имеет большое значение для повышения результативности и эффективности функционирования предприятия. Очевидно, что создание наглядного, прозрачного, понятного описания процессов предприятия, а также единой информационной среды менеджмента качества (системы управления знаниями) будет полезно при проведении сертификации СМК.

Предлагаемая концептуальная модель процессов малого предприятия, построенная с учётом требований стандартов серии ИСО 9000, раскрывает структуру верхнего уровня иерархии процессов организации. Практическое использование метамодели в качестве методологии для внесения обоснованных изменений в организационную структуру предприятия обеспечит создание реальной системы менеджмента качества. Такой переход позволит эффективно управлять процессами на всех этапах жизненного цикла продукции станкостроения и повысить её качество.

Разработанная модель процессов устойчива к изменениям предметной области, так как при трансформациях в этой сфере меняется лишь минимальный набор элементов модели (процессов, потоков, механизмов или документации). Совершенствование организационной модели предприятия является первоначальным этапом внедрения процессного подхода на исследуемом предприятии. Дальнейшее внедрение модели позволит выработать конкретный инструментарий повышения результативности и эффективности функционирования предприятия.

Библиографический список

1. Интеллектуальные системы в управлении производственными и технологическими системами / А. К. Тугенгольд [и др.]. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2010. — 182 с.

2. Галлеев, В. И. Кухня процессного подхода / В. И. Галлеев, К. В. Пичугин // Методы менеджмента качества. — 2003. — № 4. — С. 12—21.

3. Димитров, В. П. Построение онтологии технического сервиса в агропромышленном комплексе / В. П. Димитров, Л. В. Борисова, Б. Б. Жмайлов // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2011. — Т. 11, № 10 (61). — С. 1771—1779.

4. Рекомендации по стандартизации Р 50.1.028-2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования / Госстандарт России. — Москва: Изд-во стандартов, 2001. — 78 с.

5. Зворыкин, Н. М. Реализация процессного подхода на промышленном предприятии / Н. М. Зворыкин // Методы менеджмента качества. — 2004. — № 1. — С. 35—40.

6. ГОСТ Р ИСО 9001-2008. Системы менеджмента качества. Требования. — Москва: Стандартинформ, 2008. — 54 с.

Материал поступил в редакцию 30.08.2012.

References

1. Tugengold, A.K., et al. *Intellektualnyye sistemy v uplavlenii proizvodstvennymi i tekhnologicheskimi sistemami.* [Intelligent systems in production and technological system control.] Rostov-on-Don: DSTU Publ. Centre, 2010, 182 p. (in Russian).

2. Galleyev, V.I., Pichugin, K.V. *Kukhnya protsessnogo podkhoda*. [Process approach entrails.] *Metody menedzhmenta kachestva*, 2003, no. 4, pp. 12–21 (in Russian).

3. Dimitrov, V.P., Borisova, L.V., Zhmaylov, B.B. *Postroyeniya ontologii tekhnicheskogo servisa v agropromyshlennom koplekse.* [Building technical service ontology in agroindustrial complex.] *Vestnik of Don State Tech. University,* 2011, vol. 11, no. 10, pp. 1771–1779 (in Russian).

4. Gosstandart of Russia. *Rekomendatsii po standartizatsii R 50.1.028–2001. Informatsionnyye tekhnologii podderzhki zhiznennogo tsikla produktsii. Metodologiya funktsionalnogo modelirovaniya*. [Standartization recommendations R 50.1.028–2001. Information technologies of product life-cycle support. Functional simulation methodology.] Moscow: Izdatelstvo standartov, 2001, 78 p. (in Russian).

5. Zvorykin, N.M. *Realizatsiya protsessnogo podkhoda na promyshlennom predpriyatii.* [Process approach implementation at the industrial enterprise.] *Metody menedzhmenta kachestva*, 2004, no. 1, pp. 35–40 (in Russian).

6. *GOST R ISO 9001–2008. Sistemy menedzhmenta kachestva. Trebovaniya*. [State Standard R ISO 9001–2008. Quality management systems. Requirements.] Moscow: Standartinform, 2008, 54 p. (in Russian).

DEVELOPMENT OF PROCESS-ORIENTED QUALITY MANAGEMENT SYSTEM FOR SMALL MACHINE-TOOL ENTERPRISE

L. V. Borisova, E. V. Dimitrov
(Don State Technical University)

Some issues of building a functional model of a small enterprise in the machine tool industry are considered. The operation features of such enterprises are distinguished. Modern process description methods are briefly reviewed. The processes are identified, the node tree of the process network model is presented, their general description is done. The metamodel of the enterprise upper level processes and context diagrams are proposed. The business function of the enterprise under examination is considered. In accordance with the semantics of IDEF0 language, inputs, outputs, up-down control, and mechanism arrows are defined. The practical use of the metamodel as the methodology for introducing changes into the enterprise organization structure will establish a real quality management system. Such transition will contribute to the efficient process control at all times of the machine-tool product life-style and improvement in the quality of the production.
Keywords: *machine tool industry, process model, small enterprise.*

УДК 631.354.2.076-52

Нечёткое адаптивное управление зерноуборочным комбайном

Д. Я. Паршин, Д. Г. Шевчук
(Донской государственный технический университет)

Рассматривается решение задачи адаптивного управления траекторией движения и загрузкой рабочих органов зерноуборочного комбайна на основе нечёткого логического вывода. Приводится формализация задачи нечёткого управления комбайном в постоянно изменяющихся условиях работы. Представлены лингвистические переменные, характеризующие параметры управления и поверхности «входы-выходы» зависимостей и соответствующие синтезированной нечёткой системе продукционных правил. Описаны параметры терм-множеств лингвистических переменных и функций принадлежности для многопараметрической системы нечёткого адаптивного управления комбайном. Представлена имитационная модель нечёткого микроконтроллера, реализованная в системе MatLab Simulink с помощью Fuzzy Logic Toolbox, приводятся результаты моделирования. Представленные в статье база правил и механизм вывода решений составляют основу многопараметрической системы адаптивного управления зерноуборочным комбайном, реализуемую на базе нечёткого управления.
Ключевые слова: *зерноуборочный комбайн, нечёткое управление, лингвистическая переменная, функция принадлежности.*

Введение. Оператору в полевых условиях приходится решать достаточно трудную задачу обеспечения оптимальной настройки комбайна в соответствии с изменяющимися условиями окружающей среды. Её решение в основном обеспечивается опытом и интуицией механизатора. Неквалифицированное регулирование параметров технологического процесса (ТП) приводит к значительным затратам времени на простои, увеличению потерь убираемого урожая и, как следствие, снижению сменной производительности машины, увеличению расхода топлива на единицу выполненной работы, снижению качества ТП в целом. Реализация преимуществ сложных по конструкции и обслуживанию зерноуборочных машин и достижение высоких показателей качества и производительности их работы возможны лишь при автоматизации управления комбайном.

Формализация задачи нечёткого управления зерноуборочным комбайном. В настоящее время отсутствует адекватное математическое описание процесса управления ТП зерноуборочного комбайна. Имеющиеся корреляционно-регрессионные зависимости между внешними факторами, регулируемыми параметрами и показателями качества работы представляют собой достаточно громоздкие математические конструкции (причём не всегда адекватно отражающие действительность), и их использование в реальном времени и в сложных практических условиях затруднено [1].

Задача управления ТП зерноуборочного комбайна в постоянно изменяющихся условиях работы есть задача принятия решения в нечёткой среде (рис. 1). Поэтому наиболее приемлемым методом построения системы автоматического управления комбайном является нечёткое управление с адаптацией по загрузке молотильно-сепарирующего устройства (МСУ) в зависимости от степени загрузки двигателя и потерь зерна.

Методика моделирования процесса нечёткого управления комбайном основана на использовании аппарата нечётких множеств и содержит этапы: фаззификации, композиции и дефаззификации [2]. На этапе фаззификации необходимо представить условия решения задачи в лингвистической форме. На этапе композиции все нечёткие множества, назначенные для каждого терма каждой входной переменной, объединяются, и формируется единственное нечёткое множество — значение для каждой выводимой лингвистической переменной (ЛП). В результате использования

набора правил — нечёткой базы знаний — вычисляется значение истинности для предпосылки каждого правила на основании конкретных нечётких операций, соответствующих конъюнкции или дизъюнкции термов в левой части правил. Суть этапа дефаззификации заключается в выработке на основе нечёткого логического вывода конкретных рекомендаций по установлению конкретных значений регулируемых параметров машины.

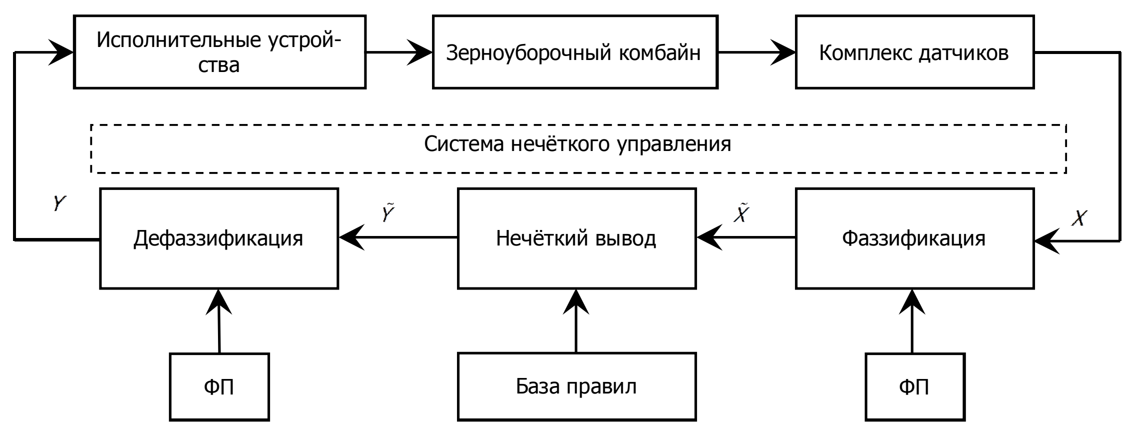


Рис. 1. Общая схема системы нечёткого управления зерноуборочным комбайном: ФП — база данных параметров функций принадлежности

Центральной научной проблемой при разработке информационных интеллектуальных систем является представление знаний рассматриваемой предметной области. Для представления знаний используется обобщённая модель предметной области в виде [3]:

$$C = \langle X; L_i; G \rangle, \quad i = \overline{1, n}, \tag{1}$$

где X — множество объектов предметной области; L_i — множество типов связи между ними; G — отображение, задающее связи между объектами, входящими в X, из заданного набора типа связей.

Приближённые рассуждения представляют собой процесс, при котором из нечётких посылок выводятся некоторые следствия (возможно также нечёткие). Лингвистическая модель рассматриваемого процесса адаптивного управления может быть представлена в виде:

$$\begin{array}{l} \text{Если } X_1 \text{ есть } A_{11} \text{ И … И } X_m \text{ есть } A_{1m}, \text{ ТО } Y_1 \text{ есть } B_{11} \text{ И … И } Y_n \text{ есть } B_{1n}, \\ \text{Если } X_1 \text{ есть } A_{p1} \text{ И … И } X_m \text{ есть } A_{pm}, \text{ ТО } Y_1 \text{ есть } B_{p1} \text{ И … И } Y_n \text{ есть } B_{pn}. \end{array} \tag{2}$$

Все параметры модели описываются собственными ЛП, термы которых задаются с помощью средств естественного языка и используются для выражения необходимых качественных оценок. При этом каждому значению ЛП ставится в соответствие нечёткое подмножество со своей функцией принадлежности:

$$\mu_{Aki} \in F(X_i); \ \mu_{Bkj} \in F(Y_j),$$

где $F(X_i)$, $F(Y_j)$ — множества нечётких подмножеств, определённых на базовых шкалах X_i и Y_j.

С фактической точки зрения совокупность правил типа (2) задаёт некоторое отображение $U^m \to V^n$ множества значений входных ЛП в аналогичное множество выходных, причём:

$$\begin{cases} U^m = \underset{i \in I}{\times} U_i; \\ V^n = \underset{j \in J}{\times} V_j. \end{cases} \tag{3}$$

Соотношения (3) в свою очередь можно поставить в соответствие нечёткое отображение:

$$S : F(X) \to F(Y), \tag{4}$$

где $S \underset{k\in K}{\cup} \mu_{Ak} \times \mu_{Bk}$, $\mu_{Ak} = \underset{i\in I}{\times} \mu_{Bki}$, $\mu_{Bk} = \underset{j\in J}{\times} \mu_{Bki}$.

Обобщение известного в классической логике правила *modus ponens* позволяет получить композиционное правило нечёткого вывода:

$$\mu_{B'} = \mu_{A'} \bullet S, \tag{5}$$

где $\mu_{A'}$ — исходная посылка, получаемая при оценке наблюдаемых данных по входным функциям принадлежности; $\mu_{B'}$ — нечёткий результат логического вывода на основе знаний, получаемый с помощью отображения (4); $\bullet$ — операция композиции.

Развёрнутая форма нечёткого логического вывода для системы знаний вида (2) может быть представлена [4]:

$$\mu_{B'} = \underset{k\in K}{\vee} \left[\left(\underset{j\in J}{\wedge} \mu_{Bkj} y_j \right) \wedge \underset{i\in I}{\wedge} \mu_{Aki} \left(x'_i \right) \right], \tag{6}$$

где x'_i — наблюдаемое значение входного параметра.

Моделирование предметной области. Согласно структурной организации многопараметрической системы адаптивного управления зерноуборочным комбайном [5] и её модели [6] в состав бортового микроконтроллера целесообразно ввести два нечётких контроллера, связанных друг с другом через параметры объекта управления. Первый нечёткий контроллер служит для управления электромеханизмом рулевого вала в зависимости от линейного отклонения траектории ориентации s и курсового угла φ. Второй нечёткий контроллер служит для управления скоростью движения $v_к$ через серворегулятор гидростатической трансмиссии (ГСТ) ходовой части и загрузкой двигателя $\gamma_д$ через электромеханизм подачи топлива.

В табл. 1 представлены ЛП, характеризующие параметры управления для систем нечёткого вывода контроллеров траекторией движения и загрузкой МСУ.

Таблица 1

ЛП многопараметрической системы нечёткого адаптивного управления зерноуборочным комбайном

Параметр управления	Наименование ЛП	Нотация ЛП	Область определения ЛП	Единица измерения
Нечёткий контроллер траектории движения				
s	ЛО	линейное отклонение траектории ориентации	[−0,1; 0,1]	м
φ	КУ	курсовой угол	[−10; 10]	град
$\alpha_к$	УП	параметр управления электромеханизмом рулевого вала	[−1; 1]	В
Нечёткий контроллер загрузки МСУ				
$m_б$	МБ	крутящий момент на валу битера наклонной камеры	[2; 4]	Н·м
$m_р$	МР	крутящий момент на валу ротора МСУ	[15,5; 24,5]	Н·м
$\gamma_м$	ЗМ	градиент настройки по загрузке МСУ	[−1; 1]	
$\gamma_д$	ЧД	частота вращения коленчатого вала двигателя	[500; 2200]	мин$^{-1}$
$\gamma_п$	ПЗ	градиент настройки по потерям зерна	[0; 2]	
$n_д$	ПТ	параметр управления электромеханизмом подачи топлива	[0; 1]	В
$n_х$	СК	параметр управления электромагнитным клапаном ГСТ	[0; 1]	В

Следующим этапом построения нечёткой системы управления является ввод терм-множеств для каждой ЛП. Для удобства записи применяют специальные сокращения для наименования отдельных термов входных и выходных ЛП [7]: NB — отрицательное большое (наименьшее значение), NM — отрицательное среднее, NS — отрицательное малое, ZN — отрицательное близкое к нулю, Z — нуль (среднее значение), ZP — положительное близкое к нулю, PS — поло-

жительное малое, PM — положительное среднее, PB — положительное большое (наибольшее значение). При построении нечёткой системы управления зерноуборочным комбайном были использованы треугольная (7), трапециевидная (8) и сигмоидные (9) *z*- и *s*-формы функции принадлежности [8]:

$$\mu(x)=\begin{cases}\dfrac{x-a}{b-a}, & a<x<b\\ 0, & x\le a \text{ или } x\ge c\\ \dfrac{c-x}{c-b}, & b<x<c\end{cases}, \qquad (7)$$

$$\mu(x)=\begin{cases}0, & x\le a \text{ или } x\ge c\\ \dfrac{x-a}{d-a}, & a\le x\le d\\ 1, & d\le x\le z\\ \dfrac{c-x}{c-z}, & z\le x\le c\end{cases}, \qquad (8)$$

$$\mu(x)=\begin{cases}1, & x\le a\\ 1-2\left(\dfrac{x-a}{c-a}\right)^2, & a\le x\le \dfrac{a+c}{2}\\ 2\left(\dfrac{x-c}{c-a}\right)^2, & \dfrac{a+c}{2}\le x\le c\\ 0, & x\ge c\end{cases}, \quad \mu(x)=\begin{cases}0, & x\le a\\ 2\left(\dfrac{x-a}{c-a}\right)^2, & a\le x\le \dfrac{a+c}{2}\\ 1-2\left(\dfrac{x-c}{c-a}\right)^2, & \dfrac{a+c}{2}\le x\le c\\ 1, & x\ge c\end{cases}, \qquad (9)$$

где (*a*, *c*) — носитель нечёткого множества — пессимистическая оценка нечёткого числа; *b* — координата максимума; (*d*, *z*) — ядро нечёткого множества — оптимистическая оценка нечёткого числа.

Существенным преимуществом таких функций принадлежности является то, что для их определения требуется наименьший по сравнению с остальными функциями объём информации, который в данном случае ограничивается данными об угловых точках.

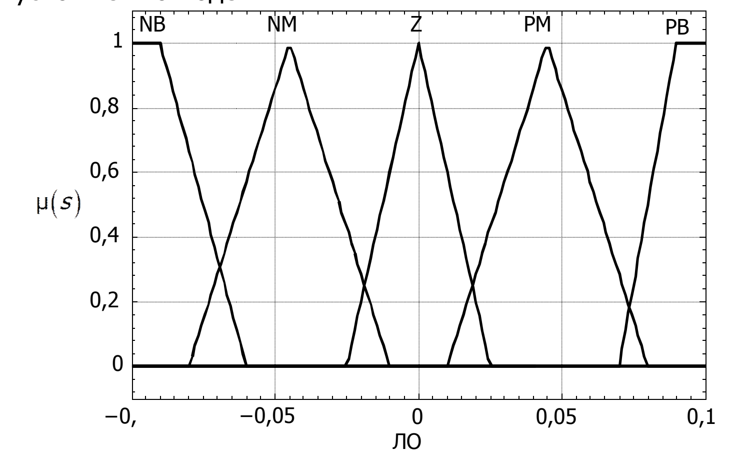
Параметры терм-множеств ЛП и функции принадлежности для нечёткого котроллера траекторией движения комбайна представлены на рис. 2.

Параметры терм-множеств входных ЛП и функции принадлежности блока адаптации по загрузке МСУ представлены на рис. 3. Выходным параметром блока адаптации является градиент настройки по загрузке МСУ γ_M, описываемый ЛП ЗМ. В то же время параметр γ_M является одним из входных параметров анализатора сочетаний.

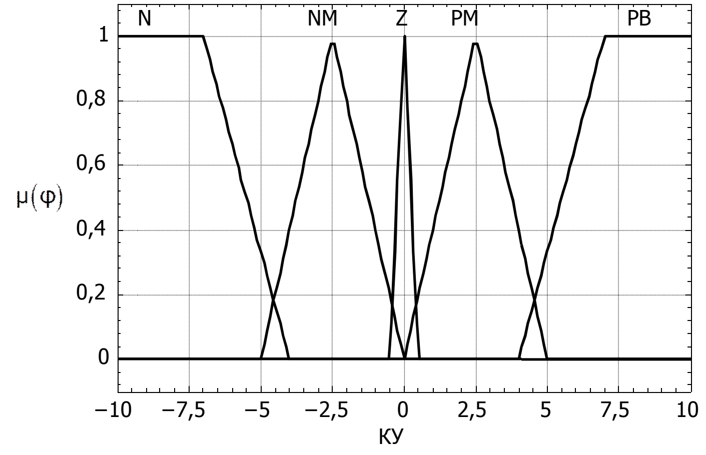
Параметры терм-множеств ЛП и функций принадлежности анализатора сочетаний представлены на рис. 4.

При проектировании нечётких контроллеров основным и неформализуемым этапом является задание набора нечётких правил. Для нечёткого контроллера траектории движения были определены 25 правил нечётких продукций, для блока адаптации по загрузке МСУ — 35 правил, для анализатора сочетаний — 31 правило нечётких продукций. Основной особенностью построенных баз правил является то, что эти правила описывают все возможные значения входных и выходных параметров управления, тем самым исключая возможность неопределённых или противоречивых ситуаций, возникших в результате значительного изменения возмущающих воздействий. Более тонкая настройка модели может быть связана с увеличением количества термов для каждой из входных и выходных переменных, что, в свою очередь, приведёт к

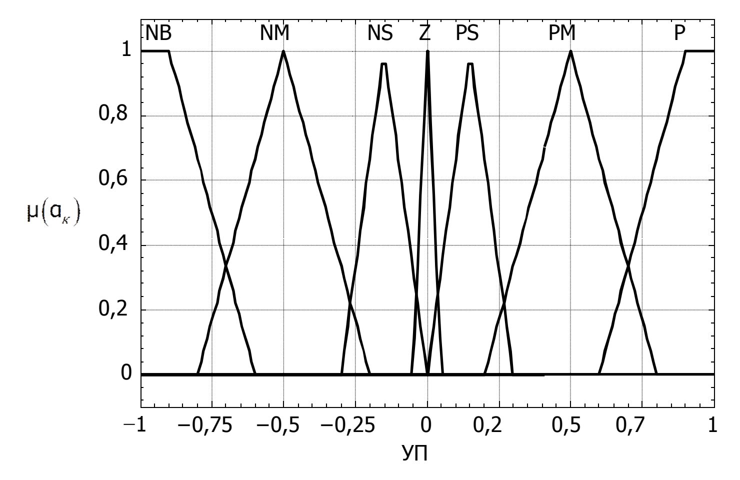
увеличению количества правил («проклятие размерности») в системе нечёткого вывода и общему усложнению модели.



ЛО	a	$b(d)$	z	c
NB	−0,1	−0,1	−0,09	−0,06
NM	−0,08	−0,045		−0,01
Z	−0,025	0		0,025
PM	0,01	0,045		0,08
PB	0,07	0,09	0,1	0,1



КУ	a	$b(d)$	z	c
NB	−10	−10	−7	−4
NM	−5	−2,5		0
Z	−0,5	0		0,5
PM	0	2,5		5
PB	4	7	10	10

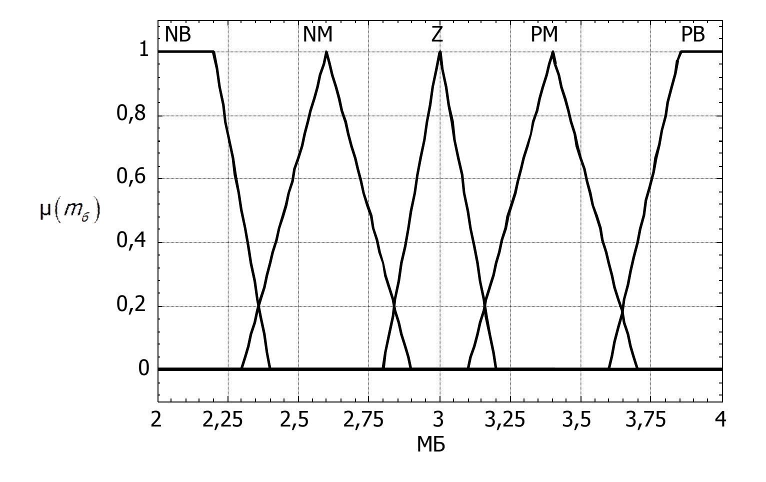


УП	a	$b(d)$	z	c
NB	−1	−1	−0,9	−0,6
NM	−0,8	−0,5		−0,2
NS	−0,3	−0,15		0
Z	−0,05	0		−0,05
PS	0	0,15		0,3
PM	0,2	0,5		0,8
PB	0,6	0,9	1	1

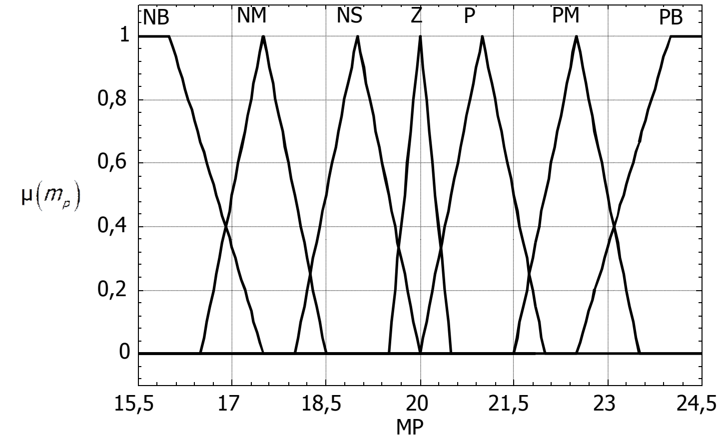
Рис. 2. Параметры терм-множеств ЛП и функций принадлежности для нечёткого котроллера траектории движения

Имитационная модель бортового микроконтроллера для нечёткого адаптивного управления. В качестве схемы нечёткого вывода для нечёткого контроллера траектории движения, блока адаптации по загрузке МСУ и анализатора сочетаний был использован метод Мамдани; метод импликации — min, метод агрегирования — max, метод дефаззификации — центр тяжести (centroid) [9]. Такой выбор схемы и методов нечёткого вывода обусловлен высокой точностью и

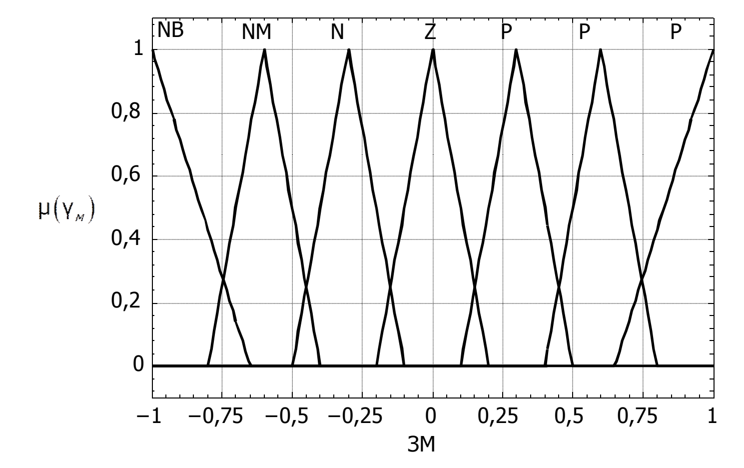
достаточным быстродействием модели. Поскольку во всех правилах в качестве логической связки для подусловий применяется только нечёткая конъюнкция, то для агрегирования использован метод минимального значения — min-конъюнкции (And method), а для аккумуляции заключений правил метод максимального значения — max-дизъюнкции (Or method).



МБ	*a*	*b* (*d*)	*z*	*c*
NB	2	2	2,2	2,4
NM	2,3	2,6		2,9
Z	2,8	3		3,2
PM	3,1	3,4		3,7
PB	3,6	3,8	4	4



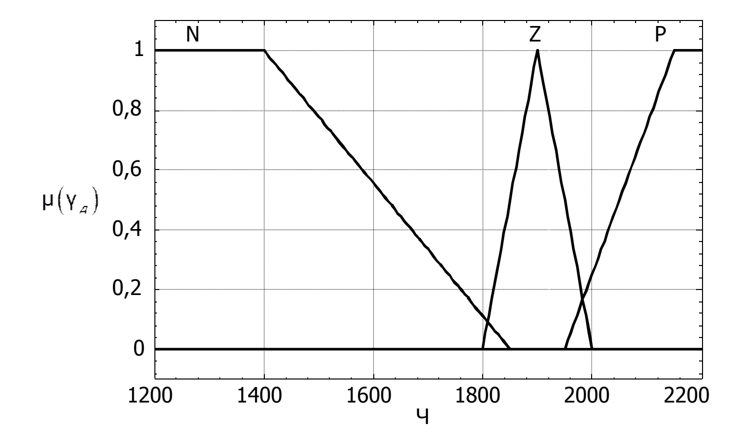
МР	*a*	*b* (*d*)	*z*	*c*
NB	15,5	15,5	16	17,5
NM	16,5	17,5		18,5
NS	18	19		20
Z	19,5	20		20,5
PS	20	21		22
PM	21,5	22,5		23,5
PB	22,5	24	24,5	24,5



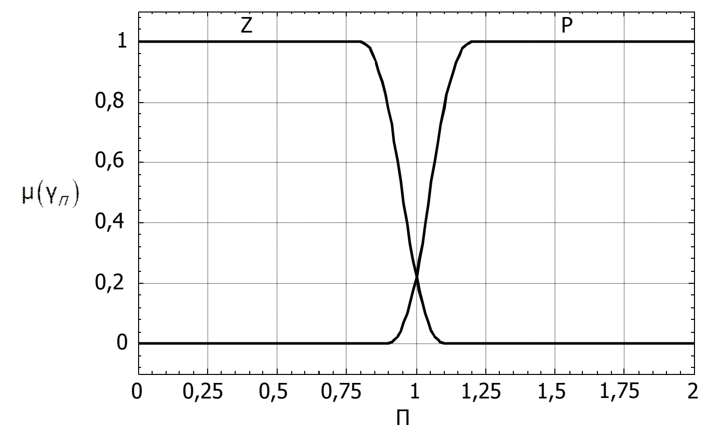
ЗМ	*a*	*b*	*c*
NB	−1	−1	−0,65
NM	−0,8	−0,6	−0,4
NS	−0,5	−0,3	−0,1
Z	−0,2	0	0,2
PS	0,1	0,3	0,5
PM	0,4	0,6	0,8
PB	0,65	1	1

Рис. 3. Параметры терм-множеств ЛП и функций принадлежности блока адаптации по загрузке МСУ

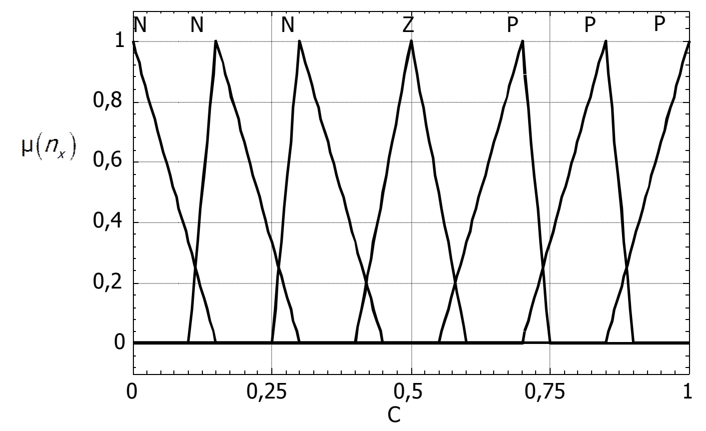
Имитационная модель бортового микроконтроллера для нечёткого адаптивного управления зерноуборочным комбайном реализована в системе Matlab Simulink с использованием Fuzzy Logic Toolbox (рис. 5).



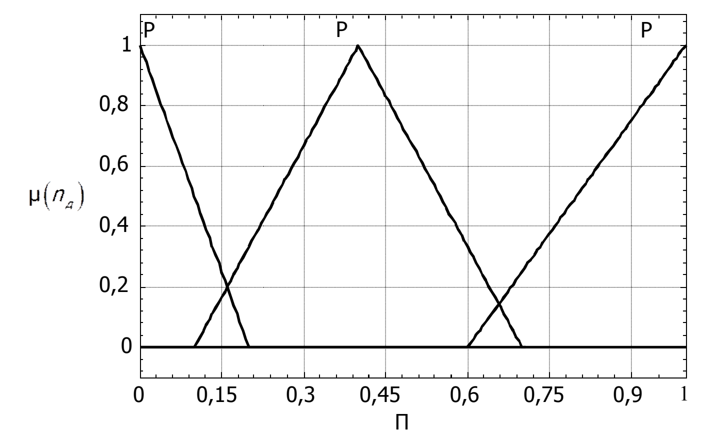
ЧД	*a*	*b* (*d*)	*z*	*c*
NM	1200	1200	1400	1850
Z	1800	1900		2000
PM	1950	2100	2200	2200



ПЗ	*a*	*c*	тип
Z	0,8	1,1	*z*-форма
PM	0,9	1,2	*s*-форма



СК	*a*	*b*	*c*
NB	0	0	0,15
NM	0,1	0,15	0,3
NS	0,25	0,3	0,45
Z	0,4	0,5	0,6
PS	0,55	0,7	0,75
PM	0,7	0,85	0,9
PB	0,85	1	1



ПТ	*a*	*b*	*c*
PS	0	0	0,2
PM	0,1	0,4	0,7
PB	0,6	1	1

Рис. 4. Параметры терм-множеств ЛП и функций принадлежности для анализатора сочетаний

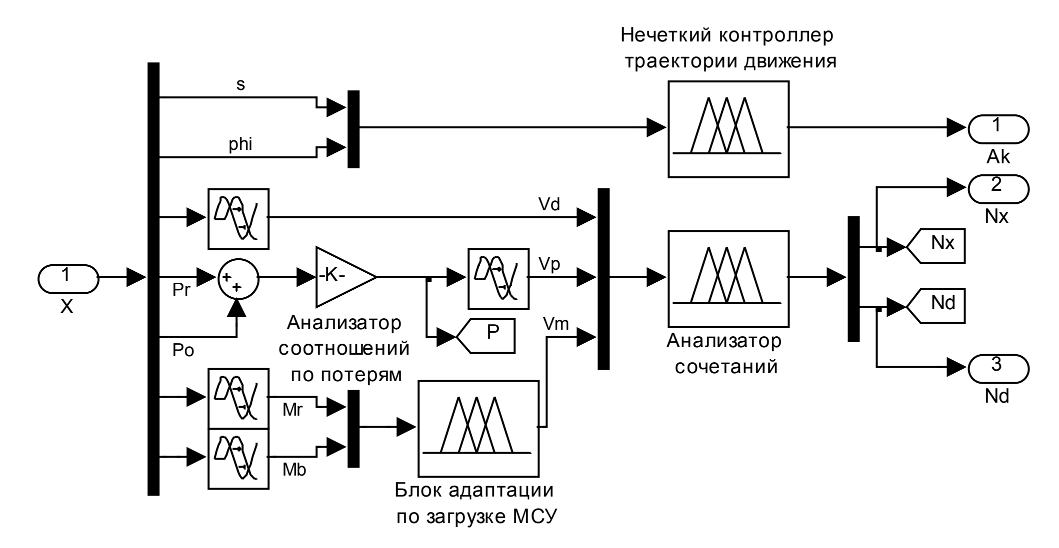


Рис. 5. Модель бортового микроконтроллера в MatLab Simulink и Fuzzy Logic Toolbox

а)

б)

в)

г)

Рис. 6. Поверхности отклика:
а — курсовой угол (КУ) — линейное отклонение (ЛО) — поворот рулевого вала (УП);
б — момент на валу битера (МБ) — момент на валу ротора (МР) — загрузка МСУ (ЗМ);
в — загрузка МСУ (ЗМ) — потери зерна (ПЗ) — скорость комбайна (СК);
г — загрузка МСУ (ЗМ) — загрузка двигателя (ЧД) — скорость комбайна (СК)

Результаты моделирования. На рис. 6 показаны поверхности «входы-выходы» зависимостей, соответствующие синтезированной нечёткой системе продукционных правил. Из рис. 6 видно, что при увеличении момента на валу битера наклонной камеры (МБ) или ротора МСУ (МР) блок адаптации по загрузке генерирует сигнал (ЗМ) на снижение подачи хлебной массы в комбайн. При увеличении потерь зерна (ПЗ), загрузки двигателя (ЧД) и МСУ (ЗМ) анализатором сочетаний генерируется сигнал на снижение скорости комбайна (СК). Таким образом, видно, что система нечётких экспертных высказываний адекватно описывает отношения «регулируемый параметр — входные факторы».

Выводы. Разработанная имитационная модель нечёткого адаптивного управления устанавливает соотношение между степенью загрузки двигателя, скоростью движения зерноуборочного комбайна и подачей хлебной массы в конкретных условиях уборки: влажность хлебной массы, урожайность убираемой культуры, рельеф поля и техническое состояние комбайна. Важной особенностью разработанной имитационной модели является непрерывное изменение возмущающих воздействий в диапазоне всех возможных значений, причём параметры моделирования задаются пользователем, что позволяет моделировать всевозможные ситуации работы комбайна и оценить качество выполнения ТП при различных внешних воздействиях. Созданные база знаний и механизм вывода решений составляют основу системы адаптивного управления зерноуборочным комбайном.

Библиографический список

1. Борисова, Л. В. Принятие решений по технической регулировке комбайна на основе нечёткого логического вывода / Л. В. Борисова // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2007. — Т. 7, № 3 (34). — С. 292—298.

2. Борисова, Л. В. Некоторые аспекты решения задачи по выбору значений регулируемых параметров комбайна на основе нечётких знаний / Л. В. Борисова, Н. М. Сербулова, А. В. Авилов // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2009. — Т. 9, № 4 (43). — С. 691—696.

3. Димитров, В. П. О формализации задачи технической регулировки комбайна / В. П. Димитров, Л. В. Борисова // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2008. — Т. 8, № 2 (37). — С. 145—155.

4. Тугенгольд, А. К. Корректировка технологических регулировок на основе нечёткого логического вывода / А. К. Тугенгольд, Л. В. Борисова, В. П. Димитров // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2009. — Т. 9, № 3 (42). — С. 419—426.

5. Паршин, Д. Я. Многопараметрическая система адаптивного управления зерноуборочным комбайном / Д. Я. Паршин, Д. Г. Шевчук // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2011. — Т. 11, № 10 (61). — С. 1817—1823.

6. Шевчук, Д. Г. Зерноуборочный комбайн как объект автоматического управления // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: мат-лы междунар. науч.-практ. конф. 29 февраля — 1 марта 2012 г. — Ростов-на-Дону, 2012. — С. 264—267.

7. Леоненков, А. В. Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. — Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2005. — 736 с.

8. Штовба, С. Д. Проектирование нечётких систем средствами MATLAB. — Москва: Горячая линия — Телеком, 2007. — 288 с.

9. Нечёткое моделирование и управление: пер. с англ. / А. Пегат. — Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. — 798 с.

Материал поступил в редакцию 04.09.2012.

References

1. Borisova, L.V. *Prinyatiye resheniy po tekhnicheskoy regulirovke kombayna na osnove nechetkogo logicheskogo vyvoda*. [Decision making on harvester service adjustment based on fuzzy inference.] *Vestnik of Don State Tech. University,* 2007, vol. 7, no. 3, pp. 292–298 (in Russian).

2. Borisova, L.V., Serbulova, N.M., Avilov, A.V. *Nekotoryye aspekty resheniya zadachi po vyboru znacheniy reguliruyemykh parametrov kombayna na osnove nechetkikh znaniy.* [Some aspects of problem solution on harvester controlled selection parameter values based on fuzzy knowledge.] *Vestnik of Don State Tech. University,* 2009, vol. 9, no. 4, pp. 691–696 (in Russian).

3. Dimitrov, V.P., Borisova, L.V. *O formalizatsii zadachi tekhnicheskoy regulirovki kombayna.* [On problem formalization of harvester service adjustment.] *Vestnik of Don State Tech. University,* 2008, vol. 8, no. 2, pp. 145–155 (in Russian).

4. Tugengold, A.K., Borisova, L.V., Dimitrov, V.P. *Korrektirovka tekhnologicheskikh regulirovok na osnove nechetkogo logicheskogo vyvoda*. [Technological adjustment updating on the basis of fuzzy logic conclusion.] *Vestnik of Don State Tech. University,* 2009, vol. 9, no. 3, pp. 419–426 (in Russian).

5. Parshin, D.Y., Shevchuk, D.G. *Mnogometricheskaya sistema adaptivnogo upravleniya zernouborochnym kombaynom*. [Multiparameter adaptive control system of grain combine.] *Vestnik of Don State Tech. University,* 2011, vol. 11, no. 10, pp. 1817–1823 (in Russian).

6. Shevchuk, D.G. *Zernouborochnyy kombayn kak obyekt avtomaticheskogo upravleniya*. [Grain combine as automatic control object.] *Sostoyaniye i perspektivy razvitiya selskokhozyaystvennogo mashinostroyeniya. Proc. Int. Research and Practice Conf., 29 Feb. — 1 March, 2012.* Rostov-on-Don, 2012, pp. 264–267 (in Russian).

7. Leonenkov, A.V. *Nechetkoye modelirovaniye v srede MATLAB i fuzzyTECH.* [Fuzzy modelling in MATLAB and fuzzy-TECH media.] St. Petersburg: BVKh-Peterburg, 2005, 736 p. (in Russian).

8. Shtovba, S.D. *Proektirovaniye nechetkih sistem sredstvami MATLAB*. [Fuzzy systems engineering through MATLAB.] Moscow: Goryachaya liniya — Telekom, 2007, 288 p. (in Russian).

9. Piegat, A. *Nechetkoye modelirovaniye i upravleniye*. [Fuzzy modeling and control.] Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2012, 798 p. (in Russian — translation from English).

FUZZY ADAPTIVE CONTROL OF GRAIN COMBINE

D. Y. Parshin, D. G. Shevchuk

(Don State Technical University)

The solution to the problem on the adaptive control of the motion path and combine tools loading based on fuzzy logic inference is considered. The problem formalization of the fuzzy combine control under the frequently changing operation conditions is resulted. The linguistic variables which characterize the control parameters and the "inputs-output" dependence surface and conform to the production synthesized fuzzy system are presented. The term-set parameters of the linguistic variables and membership functions for the fuzzy multivariable adaptive control system of the grain combine are described. The fuzzy microcontroller simulation model implemented in MatLab Simulink system with Fuzzy Logic Toolbox is presented. The simulation results are given. The presented rule base and inference mechanism form the basis of the multivariable adaptive fuzzy control system of the grain combine.

Keywords: *grain combine, fuzzy control, linguistic variable, membership function.*

УДК 631.362.001.573

Моделирование процесса сепарации зернового вороха в вертикальном пневмоканале

Ю. И. Ермольев, А. В. Бутовченко, А. А. Дорошенко
(Донской государственный технический университет),
С. В. Белов
(ООО «Донская гофротара»)

Приведена методология и показатели процесса пневмосепарации зернового вороха в вертикальном пневмоканале при заданных вероятностных характеристиках воздушного потока, подачи зернового вороха в пневмосепаратор и плотностей вероятностей скоростей витания всех компонентов вороха.
Ключевые слова: *процесс, математическая модель, показатели сепарации, результаты моделирования.*

Введение. В настоящее время актуальным является вопрос, связанный с повышением качества и снижения затрат на послеуборочную обработку семян, которые составляют до 40 % общих затрат на его производство. При послеуборочной обработке очень важно выделить мелкие засорители, травмированные и биологически неполноценные зёрна, которые являются благоприятной средой для развития микроорганизмов, ухудшающих качество исходного зернового материала.

Для выполнения всех этих требований используются сложные зерно- и семяочистительные машины, имеющие пневмосепарирующие рабочие органы. Но данные рабочие органы неспособны выделить более 30 % всех засорителей зернового материала. Проблемой является неравномерность ввода зернового материала и распределения воздушного потока по ширине канала.

Моделирование процесса сепарации зернового вороха. Существующие математические модели упрощённо описывают процесс функционирования сепараторов без учёта вероятностных характеристик распределений скоростей витания всех компонентов, входящих в состав зернового материала, а также плотности распределения вероятности воздушного потока и вероятностных характеристик поступления зернового материала по ширине пневмоканала. В качестве исходного материала взят зерновой ворох из бункера зерноуборочного комбайна в Ростовской области. Состав вороха представлен в табл. 1.

Таблица 1

Фракционный состав зернового вороха

№	Содержание j-го компонента, безразмерная	Наименование j-го компонента
1	0,8729	Зерно пшеницы
2	0,06	Щуплое зерно
3	0,008	Минеральные примеси
4	0,0001	Полова
5	0,005	Соломистые примеси
6	0,045	Крупные примеси
7	0,001	Дроблёное зерно
8	0,008	Семена сорняков

Нами выбраны репрезентативные выборки этих компонентов и по известным методикам оценены вероятностные характеристики скоростей витания компонентов, входящих в состав зернового вороха. Плотности вероятности скоростей витания компонентов зерносоломистого вороха, используемые в данной работе, представлены на рис. 1.

В качестве объекта исследования принят процесс сепарации зерносоломистого вороха в вертикальный пневмоканале с нагнетательным воздушным потоком (рис. 2, 3).

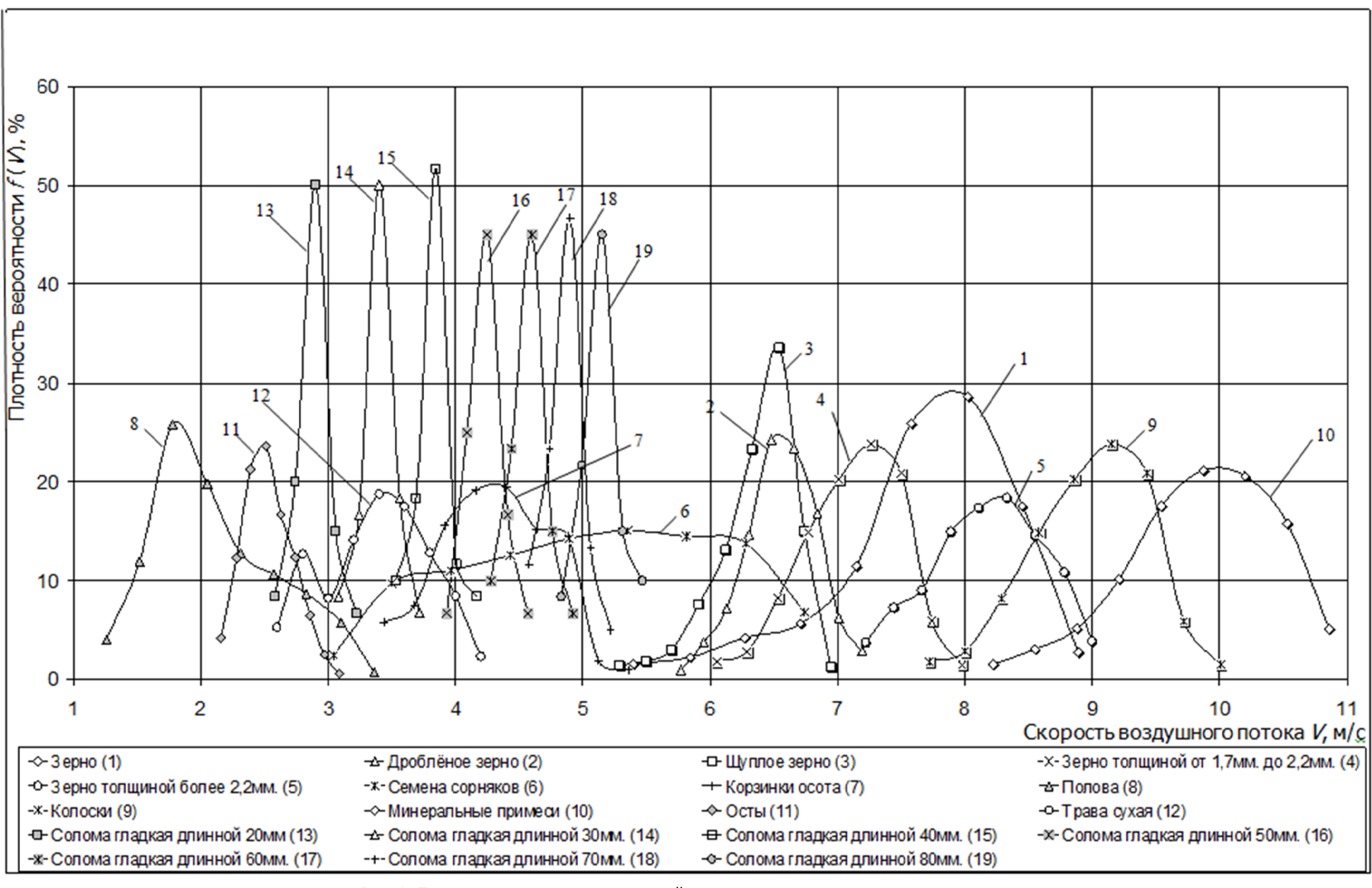


Рис. 1. Плотности вероятности скоростей витания компонентов зернового вороха

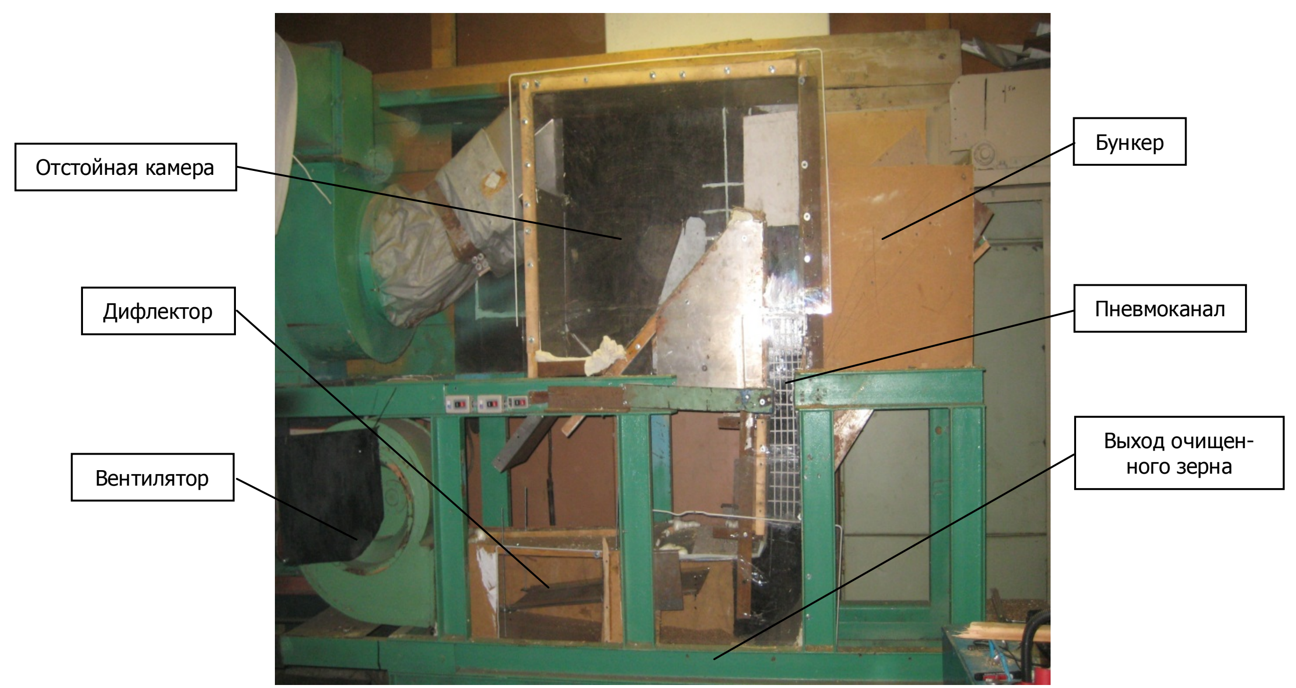


Рис. 2. Лабораторная установка

Функция цели:

Полнота выделения *j*-го компонента из исходного зернового вороха:

$$\varepsilon_{\Sigma\Pi_j} \to \max \text{ при } j = 2, 3, \dots, b; \tag{1}$$

Ограничения: полнота выделения в лёгкую фракцию зерна толщиной более 1,7 мм:

$$\varepsilon_{\Sigma\Pi(зерно)} \le 0{,}5\%\,; \tag{2}$$

интервал поиска оптимальной скорости воздушного потока для выполнения ограничения находится в диапазоне:

$$4 \le V_в \le 8 \text{ м/с}\,; \tag{3}$$

шаг поиска скорости воздушного потока:

$$t_{V_v} = 0{,}01 \text{ м/с}.$$

Для учёта вероятностных характеристик $f_v(B)$, $f_Q(B)$ условно разделим пневмоканал по ширине B на равные участки (P = 1, 2, …, e), e = 11 (см. рис. 3).

Для этих условий оценивается сепарация зернового вороха на каждом p-м участке при соответствующей на нём V_P скорости воздушного потока, подачи Q_P на него зернового вороха с известными вероятностными характеристиками $f(V)_j$ его j-х компонентов постоянными для каждого P-го участка.

На первом этапе исследований использовался вертикальный пневмоканал с параметрами B = 1 м, S = 0,2 м, с нагнетательным воздушным потоком, формируемым центробежным вентилятором [3] с известной плотностью вероятностью $f_v(B)$ скоростей воздушного потока (рис. 4).

Плотность вероятности $f_q(B)$ принята в идее нормального закона распределения

$$f_Q(B) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_Q}\int_0^B e^{-\frac{(Q-m_Q)^2}{2\sigma_Q^2}}\,dB, \tag{4}$$

где $m_a = 10 \,{}^{кг}/_{м \cdot с}$, $\sigma_Q^2 = 8{,}096\left[{}^{кг}/_{м \cdot с}\right]^2$.

Рис. 3. Вероятностные характеристики распределения воздушного потока $f_V(B)$; подачи зернового вороха $f_Q(B)$ по ширине B пневмоканала и плотности вероятностей $f(v)_j$ распределения скоростей витания компонентов зернового вороха на участках 1, 2, …, e ширины пневмоканала

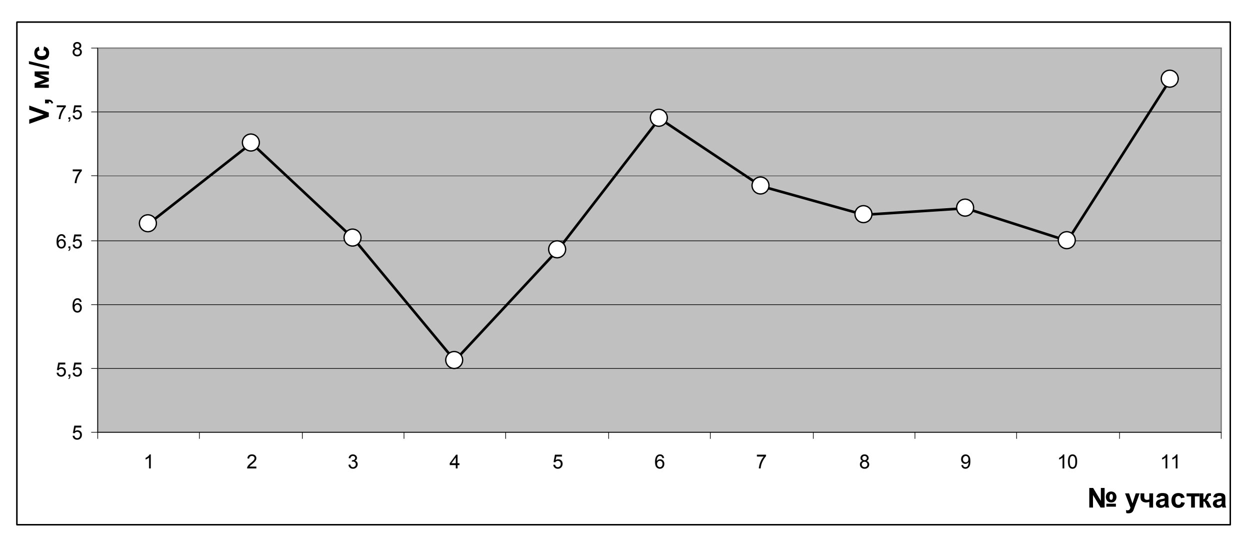


Рис. 4. Плотность вероятностей $f_V(B)$ скоростей воздушного потока

Плотности вероятностей $f(B)_j$ скоростей витания j-х компонентов постоянны на каждом p-м участке и соответствуют найденным $f(V)_j$ (см. рис. 1) компонентам исходного измельчённого соломистого вороха.

Известно [1, 2], что при заданных вероятностных характеристиках процесса сепарации зерносоломистого вороха по ширине пневмоканала математическое ожидание полноты прохода j-го компонента в очищенные фракции зернового вороха определяется выражением (5).

$$\varepsilon_{\Sigma\Pi_j} = \frac{\sum_{p=1}^{e} Q_p \cdot \varepsilon_{\Pi_{jp}} \cdot \left(Q_p, V_p, f_{vj}\right)}{Q_0 \cdot e}, \tag{5}$$

где Q_p — подача зернового вороха на p-й участок ширины B пневмоканала;

$$Q_p = \frac{B \cdot Q_0}{K} \cdot \frac{\int_{p-1}^{p} f_Q(B)\,dB}{\int_{p=1}^{e} f_Q(B)\,dB}; \tag{6}$$

V_p — средняя скорость воздушного потока на p-м участке ширины пневмоканала;

$$V_p = \frac{B \cdot V}{K} \cdot \frac{\int_{p-1}^{p} f_V(B)\,dB}{\int_{p=1}^{e} f_V(B)\,dB}; \tag{7}$$

$$K = \frac{B}{e}. \tag{8}$$

Для оценки показателей функционирования вертикального пневмоканала приняты следующие выражения.

Полнота выделения (унос) j-го компонента в лёгкие фракции.

$$\varepsilon_{b_j} = \left(1 - \varepsilon_{\Sigma\Pi_j}\right); \tag{9}$$

содержание j-го компонента в очищенном зерне.

$$b_j = a_j \cdot \varepsilon_{\Sigma\Pi_j} \Big/ \sum_{j=1}^{B} a_j \cdot \varepsilon_{\Sigma\Pi_j}; \tag{10}$$

Содержание j-го компонента в лёгких фракциях.

$$b_{ja} = a_j \cdot \left(1 - \varepsilon_{\Sigma\Pi_j}\right) \Big/ \left\{ \sum_{j=1}^{B} \left[a_j \cdot \left(1 - \varepsilon_{\Sigma\Pi_j}\right) \right] \right\}; \tag{11}$$

Содержание зерновых $в_{п.зерн}$ и сорных $в_{п.сорн.}$ примесей в очищенном зерне.

$$в_{п.сорн.} = \frac{\sum_{сорные} b_j}{\sum_{j=1}^{e} b_j}; \tag{12}$$

$$в_{п.зерн} = \frac{\sum_{зерновые} b_j}{\sum_{j=1}^{e} b_j}; \tag{13}$$

Разработана математическая модель процесса сепарации зернового вороха в вертикальном пневмоканале с учётом указанных вероятностных характеристик компонентов зерносоломистого вороха и плотностей вероятностей распределения воздушного потока и подачи вороха по ширине B

пневмоканала. Плотности вероятностей $f(V)_j$ скоростей витания j-х компонентов, представленных на рисунке 1, описаны полиномом четвёртой степени и представлены в таблице 2.

Таблица 2

Уравнения регрессии, описывающие плотности вероятностей скоростей витания компонентов зернового вороха $f(V)=C_1 \cdot V^4+C_2 \cdot V^3+C_3 \cdot V^2+C_4 \cdot V+C_0$.

№	Компоненты зерносоломистого вороха	Скорости витания		Коэффициенты при переменных				
		V min	V max	C_1	C_2	C_3	C_4	C_0
1	Щуплое зерно	5,18	7,052	–0,0613	0,6892	–1,0939	–1,844	4,3889
2	Дроблёное зерно	5,68	7,273	0,1094	–2,357	15,902	–34,215	22,556
3	Корзинки осота	3,32	5,48	0,0657	–1,2994	7,5321	–11,603	11,028
4	Колоски	7,57	10,144	0,0721	–1,6725	11,868	–25,888	18,194
5	Минеральные примеси	8,05	11,02	0,0029	–0,3504	3,9323	–9,4644	7,7778
6	Полова	1,12	3,487	–0,0568	1,3939	–12,311	42,655	–29,167
7	Зерно толщиной более 2,2 мм	7,1	9,107	0,0248	–0,5997	4,0389	–6,0867	3,3889
8	Семена сорняков	2,8	6,967	–0,0412	0,7939	–5,6101	18,221	–10,722
9	Зерно толщиной от 1,7 мм до 2,2 мм	5,92	8,098	0,0248	–0,5997	4,0389	–6,0867	6,3889
10	Сухая трава	2,5	4,3	0,0165	–0,4223	2,8339	–3,9774	8,2222
11	Осты	2,1	3,1444	0,0721	–1,6725	11,868	–25,888	18,194
12	Солома длиной 20 мм	2,5	3,3	7,2938	–86,831	347,81	–533,35	273,41
13	Солома длиной 30 мм	3	3,8	7,2979	–87,993	358,02	–559,26	290,26
14	Солома длиной 40 мм	3,45	4,25	8,6854	–103,25	414,89	–646,85	333,53
15	Солома длиной 50 мм	3,85	4,65	4,8667	–57,01	221,23	–319,29	156,86
16	Солома длиной 60 мм	4,2	5	5,5583	–65,59	258,76	–387,19	198,46
17	Солома длиной 70 мм	4,5	5,3001	6,2542	–73,938	293,12	–443,92	230,15
18	Солома длиной 80 мм	4,75	5,55	5,9063	–69,626	275,11	–413,21	210,15

Формы кривых вероятностных характеристик $f_V(B)$ и $f_Q(B)$ приняты в соответствии с экспериментальными результатами исследования нагнетательных воздушных потоков в вертикальном пневмоканале и подач зернового вороха в пневмоканал современных воздушно-решётных зерноочистительных машин.

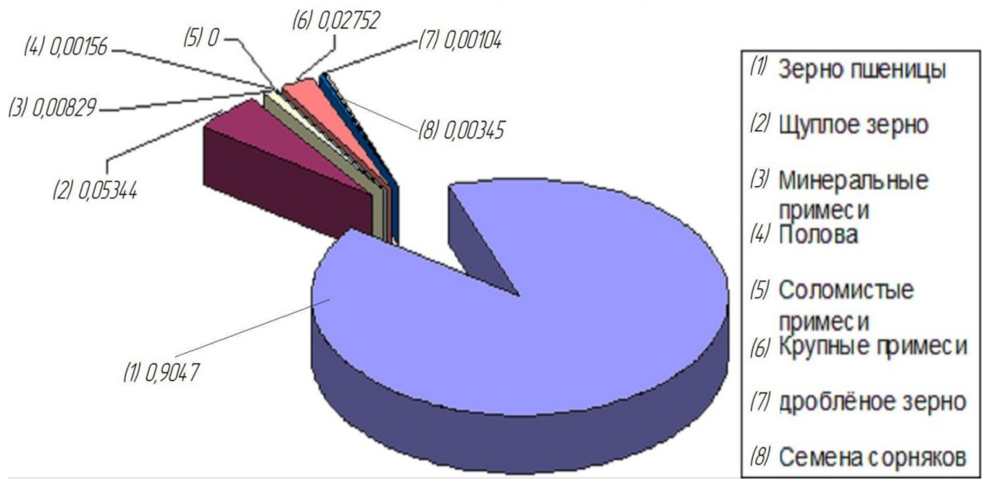


Рис. 5. Содержание j-го компонента в очищенном зерне

Рабочая ширина пневмоканала разбита на 11 равных участков, при использовании методов нелинейного программирования — метода сканирования с ограничениями, определены допустимые вероятностные характеристики воздушного потока в пневмоканале по его ширине, обеспечивающие выполнение функции цели и ограничения (1) — (3).

Рациональные скорости воздушного потока в соответствии с заданной плотностью вероятности $f_V(B)$ и вероятности подачи зернового вороха P_{QP} на каждом p-м участке ширины пневмоканала приведены в таблице 3.

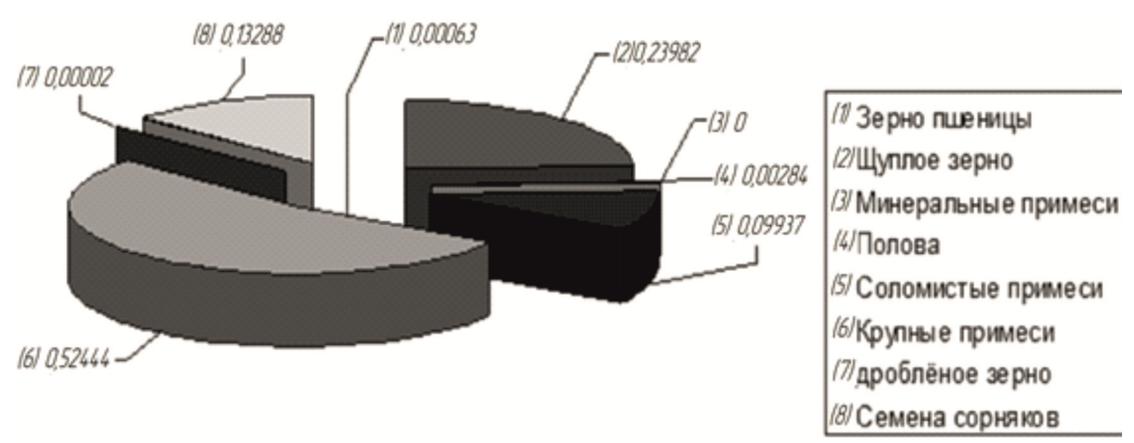


Рис. 6. Содержание *j*-го компонента в лёгкой фракции

Таблица 3

Рациональные скорости V_P и вероятности подачи P_{QP} зернового ворохана участках ширины *B* пневмоканала

Характеристика	№ участка										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Скорость воздушного потока V_P, м/с	5,23	5,86	5,12	4,16	5,02	6,05	5,52	5,3	5,35	5,60	6,36
Вероятность подачи зернового вороха P_{QP}, %	0,06	0,06	0,07	0,08	0,11	0,12	0,13	0,12	0,1	0,08	0,07

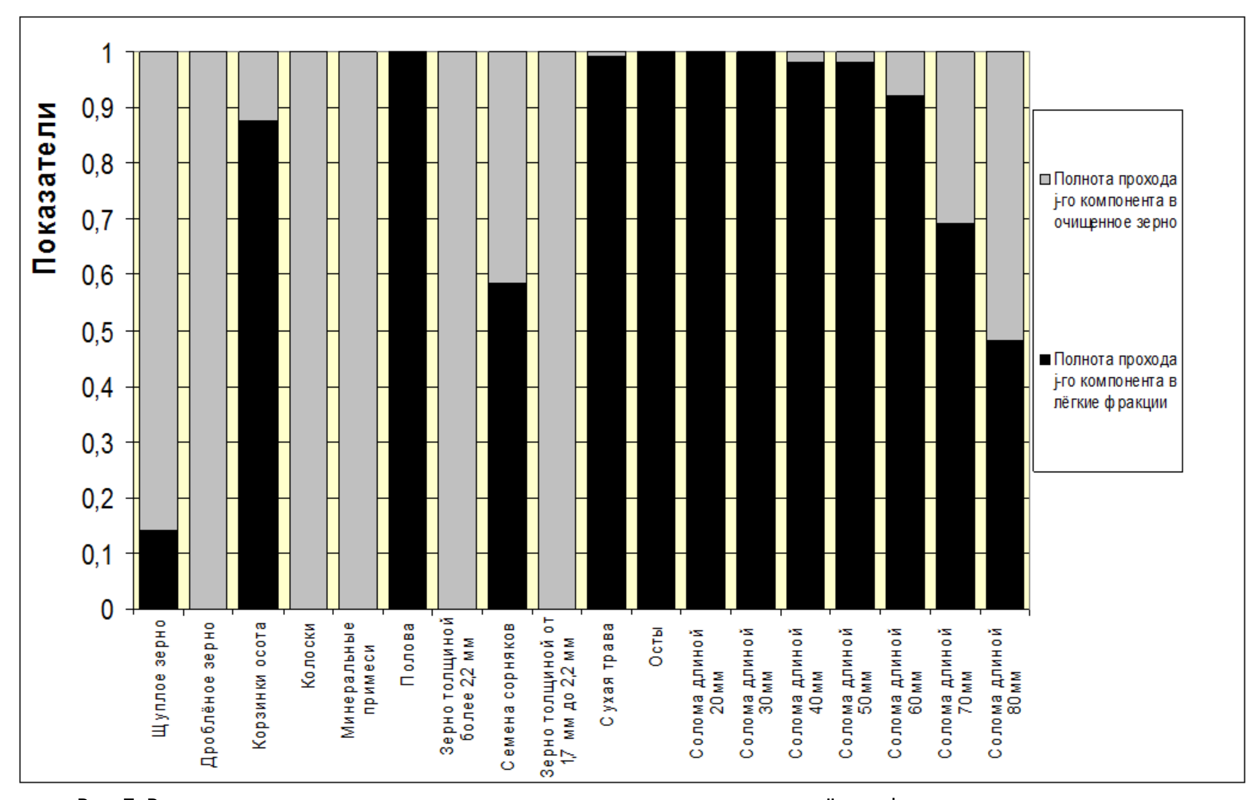


Рис. 7. Распределение полноты прохода компонентов зернового вороха в лёгкие фракции и в очищенное зерно

Разработана программа для ЭВМ для многомерного анализа рассматриваемого процесса функционирования пневмоканала.

Моделирование проведено при следующих допущениях: пневмосепарация зернового вороха рассматривалась без учёта влияния компонентов вороха друг на друга при перемещении в

пневмоканале; вероятностные характеристики воздушного потока в пневмоканале не изменяли свою структуру $f_V(B)$ при сепарации.

Результаты моделирования представлены на рисунках 5—8 и в табл. 4.

Таблица 4

Распределение полноты прохода компонентов зернового вороха в лёгкие фракции и в очищенное зерно

№	Компонент зернового вороха	Полнота прохода *j*-го компонента в лёгкие фракции	Полнота прохода *j*-го компонента в очищенное зерно
1	Щуплое зерно	0,1406	0,8594
2	Дроблёное зерно	0,00074	0,99926
3	Корзинки осота	0,8752	0,1248
4	Колоски	0	1
5	Минеральные примеси	0	1
6	Полова	1	0
7	Зерно толщиной более 2,2 мм	0	1
8	Семена сорняков	0,5842	0,4158
9	Зерно толщиной от 1,7 мм до 2,2 мм	0,00025	0,99975
10	Сухая трава	0,9926	0,0074
11	Осты	1	0
12	Солома длиной 20 мм	1	0
13	Солома длиной 30 мм	1	0
14	Солома длиной 40 мм	0,9809	0,0191
15	Солома длиной 50 мм	0,9807	0,0193
18	Солома длиной 60 мм	0,92	0,08
20	Солома длиной 70 мм	0,6927	0,3073
21	Солома длиной 80 мм	0,4827	0,5173

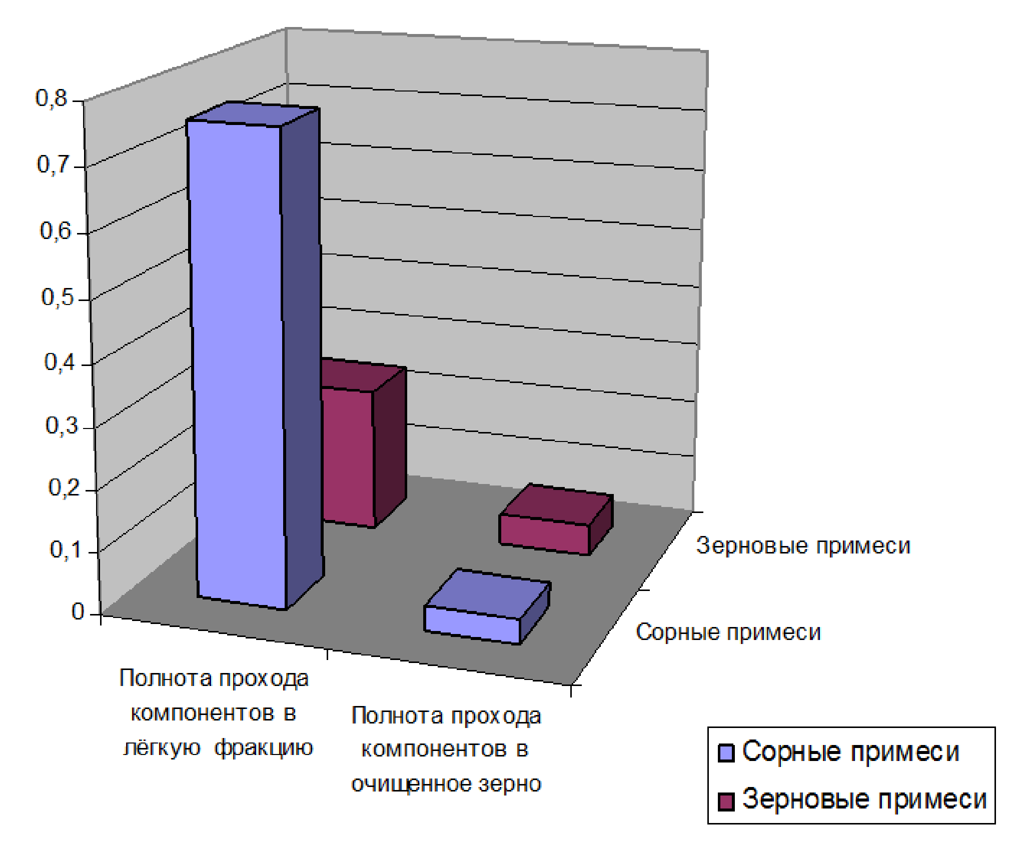


Рис. 8. Суммарное распределение полноты прохода компонентов в лёгкие фракции и в очищенное зерно

Выводы. Анализ полученных результатов показывает, что в ходе работы:

1) установлено, что при заданных вероятностных характеристиках скоростей витания компонентов зернового вороха, подачи и скоростей воздушного потока в вертикальном пневмоканале процесс сепарации зернового вороха высок и обеспечивает его качественную сепарацию в вертикальном пневмоканале.

2) разработаны методология и математическая модель процесса пневмосепарации зернового вороха с заданными вероятностными характеристиками:

- плотности скоростей витания всех компонентов вороха,
- распределения скоростей воздушного потока и
- подачи зернового вороха по ширине пневмоканала.

Библиографический список

1. Ермольев, Ю. И. Энергосберегающие технологии сепарации зерновых отходов на предприятиях приёма, переработки и хранения зерна / Ю. И. Ермольев, Г. И. Лукинов. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2007. — 234 с.

2. Ермольев, Ю. И. Проектирование технологических процессов и воздушно-решётных и решётных зерноочистительных машин / Ю. И. Ермольев [и др.]. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2010. — 638 с.

Материал поступил в редакцию 16.06.2012.

References

1. Yermolyev, Y.I., Lukinov, G.I. *Energosberegayushchiye tekhnologii separatsii zernovykh otkhodov na predpriyatiyakh priyema, pererabotki i khraneniya zerna.* [Energy-efficient technologies of screening separation at grain receiving, processing, and storage farm units.] Rostov-on-Don, DSTU Publ. Centre, 2007, 234 p. (in Russian).

2. Yermolyev, Y.I., Butovchenko, A.V., Moskovskiy, M.N., Shelkov, M.V. *Proektirovaniye tekhnologicheskikh protsessov i vozdushno-reshetnykh i reshetnykh zernoochistitelnykh mashin.* [Technological process design of air-and-screen and screen cleaners.] Rostov-on-Don, DSTU Publl. Centre, 2010, 638 p. (in Russian).

SIMULATION OF GRAIN PILE SEPARATION IN VERTICAL PNEUMATIC PASSAGE

Y. I. Yermolyev, A. V. Butovchenko, A. A. Doroshenko
(Don State Technical University),
S. V. Belov
(«Donskaya Gofrotara» LLC)

The methodology and grain pile pneumatic separation parameters in the vertical pneumatic passage under the specified probabilistic characteristics of the airflow, the grain pile feed into the pneumatic separator, and the terminal velocity probability density of all pile components are described.

Keywords: *process, mathematical model, separation parameters, simulation results.*

УДК 539.376

Модели теории ползучести бетона и их конечноэлементная реализация

П. П. Гайджуров
(Донской государственный технический университет),
Э. Р. Исхакова
(Южно-Российский государственный технический университет)

Разработан конечноэлементный метод решения плоской задачи теории ползучести бетона с учётом старения. В качестве наследственных функций второго рода использованы выражения, базирующиеся на формулах для меры ползучести, предложенных Н. Х. Арутюняном и С. В. Александровским. С помощью символьного процессора получены выражения для ядер релаксации бетона, удобные для программирования. Разработаны устойчивый шаговый алгоритм и соответствующая программа, позволяющие выполнять расчёты при переменном нагружении с учётом быстро набегающей ползучести в начальный момент нагружения и частичной обратимости деформаций ползучести при разгрузке. На основе имеющихся экспериментальных данных по ползучести центрально сжатых призматических бетонных стержней и изгибаемых железобетонных балок осуществлена верификация разработанного математического и программного обеспечения.
Ключевые слова: *метод конечных элементов, плоская задача, наследственная теория старения, численное интегрирование.*

Введение. В настоящее время накоплен значительный экспериментальный и теоретический материал по ползучести бетона [1, 2, 3]. Вместе с тем известные подходы к расчёту бетонных и железобетонных конструкций с учётом ползучести ориентированы главным образом на решение задач с относительно простой геометрией изделия [1, 3, 4]. В работе [5] приведён конечноэлементный алгоритм решения задачи теории упругой наследственности. Однако данная теория постулирует полную обратимость деформаций ползучести, что ограничивает её применение рамками только «старого» бетона. Поэтому актуальной является проблема разработки более общего конечноэлементного алгоритма, реализующего модель теории наследственного старения, позволяющую моделировать процесс непрерывного бетонирования, а также рассчитывать потерю предварительного натяжения арматуры, обусловленную ползучестью стареющего бетона.

Наследственные функции второго рода для бетона. Физические соотношения для плоской задачи наследственной теории старения запишем в матрично-операторной форме:

$$\{\sigma\} = \left[E(t)\right](1-\mathbf{R})\{\varepsilon\},$$

где векторы-столбцы напряжений и деформаций $\{\sigma\} = \{\sigma_{11}\ \sigma_{22}\ \sigma_{12}\}^T$, $\{\varepsilon\} = \{\varepsilon_{11}\ \varepsilon_{22}\ 2\varepsilon_{12}\}^T$ (T — символ транспонирования); $\left[E(t)\right]$ — матрица упругости материала; $\mathbf{R}\varepsilon_{ij} = \int_{\tau}^{t} R(t,\tau)\varepsilon_{ij}(\tau)d\tau$, $R(t,\tau)$ — ядро релаксации (наследственная функция II рода). Здесь введены обозначения: τ — «возраст» материала в момент приложения нагрузки; t — временная координата, отсчитываемая от τ до некоторого текущего момента времени наблюдения. Параметры t и τ измеряются в сутках.

Вид функции $R(t,\tau)$ базируется на принятой механико-математической модели ползучести бетона и применяемой функции меры ползучести $\tilde{N}(t,\tau)$. В рамках теории старения выражение для ядра релаксации $R(t,\tau)$ имеет вид [1, 4]:

$$R(t,\tau)=\frac{1}{E(t)}\frac{\partial}{\partial\tau}\left[E(t)e^{-\int_{\tau}^{t}E(\tau)\frac{\partial}{\partial\tau}C(\tau,\tau_1)d\tau}\right], \quad (1)$$

где функция меры ползучести, предложенная Н. Х. Арутюняном [2],

$$\tilde{N}(t,\tau)=\left(C_1+\frac{A_1}{\tau}\right)\left[1-e^{-\gamma(t-\tau)}\right];$$

модуль упругости материала $E(t)=E_0\left(1-e^{-\beta\tau}\right)$; C_1, A_1, γ, E_0, β — константы, определяемые из опытов на ползучесть при одноосной деформации. В формуле (1) величину τ_1 можно считать равной моменту времени распалубки. Достоинством представления наследственной функции в форме (1) является то, что после обработки этого выражения в среде символьного процессора компьютерной математики Maple получаем следующую легко программируемую формулу:

$$\begin{gathered}R(t,\tau)=\frac{1}{E(t)}\Big\{E'(\tau)e^{\chi_1\chi_2\left[\upsilon_1(t)(\beta+\gamma)-\omega_1(t,\tau)\gamma-\upsilon_1(\tau)(\beta+\gamma)+\omega_2(t,\tau)\gamma\right]\omega_3(t,\tau)}-\\-E(\tau)\Big[\chi_3\chi_2\omega_3(t,\tau)\left[\omega_1(t,\tau)\beta\gamma-\upsilon_1(\tau)\gamma(\beta+\gamma)+\omega_2(t,\tau)\gamma^2\right]+\\+\chi_2\chi_3\omega_3(t,\tau)\left[\upsilon_1(t)(\beta+\gamma)-\omega_1(t,\tau)\gamma-\upsilon_1(\tau)(\beta+\gamma)+\omega_2(t,\tau)\gamma\right]\Big]\times\\\times\chi_1\chi_2\omega_3(t,\tau)\left[\upsilon_1(t)(\beta+\gamma)-\omega_1(t,\tau)\gamma-\upsilon_1(\tau)(\beta+\gamma)+\omega_2(t,\tau)\gamma\right]\Big\},\end{gathered} \quad (2)$$

где введены обозначения:

$$E'(\tau)=E_0\beta e^{-\beta\tau};\ \chi_1=e^{-\frac{1}{\tau_1(\beta+\gamma)}};\ \chi_2=E_0\left(\tau_1C_1+A_1\right);\ \chi_3=\frac{1}{\tau_1(\beta+\gamma)};$$

$$\upsilon_1(x)=e^{\gamma(x+\tau_1)};\ \omega_1(t,\tau)=e^{\gamma(t+\tau_1)-\beta\tau};\ \omega_2(t,\tau)=e^{\gamma(\tau+\tau_1)-\beta t};\ \omega_3(t,\tau)=e^{-\gamma(\tau+t)}.$$

Графики функции $R(t,\tau)$ для бетона, построенные с помощью формулы (2), для различных значений параметра τ приведены на рис. 1. На этом рисунке линиям 1, 2, 3, 4, 5, 6 соответствует «возраст» бетона (в сутках) 2, 8, 14, 20, 30, 40. Значения констант принимались равными [1]: $\tilde{N}_1$ = 9,9388·10^{-11} (Н/м^2)$^{-1}$; A_1 = 4,7095·10^{-10} сут./(Н/м^2); E_0 = 2,55·10^{10} Н/м^2; γ = 0,03 сут.$^{-1}$; β = 0,206 сут.$^{-1}$

Всесторонний анализ недостатков теории старения, главным из которых является полное отрицание обратимости деформаций ползучести, представлен в работе [1]. Следующим шагом развития теории ползучести бетона является модель упруго-ползучего тела, или теория наследственного старения. Суть теории наследственного старения состоит в предположении о частичной обратимости деформаций ползучести при условии выполнения принципа наложения воздействий. Наиболее точно экспериментальные данные о ползучести бетона описываются с помощью выражения для меры ползучести, предложенного С. В. Александровским [1]:

$$C(t,\tau)=\psi(\tau)-\psi(t)\left(\frac{e^{\gamma\tau}-A_2}{e^{\gamma t}-A_2}\right)+\Delta(\tau)\left[1-e^{-\alpha(t-\tau)}\right]. \quad (3)$$

Здесь обозначено: $\psi(\tau)=C_3+\frac{A_3}{\tau}$; $\Delta(\tau)=C_1-C_3+\frac{A_1-A_3}{\tau}$. Величины A_1, A_2, A_3, C_1, C_3, γ, α — опытные константы.

Выражение для наследственной функции $R(t,\tau)$, полученное на основе формулы (3), имеет вид [1]:

$$R(t,\tau)=-\frac{1}{E(t)}\left\{K^2(\tau)F'(\tau)\left(e^{\gamma\tau}-A_2\right)-K'(\tau)-\left[K(\tau)\left(e^{\gamma\tau}-A_2\right)e^{-\eta(\tau)}\right]'\times\right.$$
$$\left.\times\int_{\tau}^{t}K(\tau)F'(\tau)e^{\eta(\tau)}d\tau+B_3(t)e^{-\mu(t)(t-\tau)}\right\}, \qquad (4)$$

где $F(\tau)=\dfrac{\psi(\tau)}{e^{\gamma\tau}-A_2}$; $K(\tau)=\dfrac{E(\tau)}{1+\Delta(\tau)E(\tau)}$; $\eta(\tau)=\int_{\tau_1}^{t}K(\tau)F'(\tau)\left(e^{\gamma\tau}-A_2\right)d\tau$;

$$B_3(t)=F'(t)\left(e^{\gamma t}-A_2\right)\left[E^2(t)-K^2(t)\right]-\alpha E^2(t)+K'(t)-E'(t);$$

$$\mu(t)=\frac{1}{B_3(t)}\left\{B_3'(t)+\gamma e^{\gamma t}F'(t)\left[E^2(t)-K^2(t)\right]-F'^2(t)\left(e^{\gamma t}-A_2\right)^2\left[E^3(t)-K^3(t)\right]-\right.$$
$$-\alpha E(t)\left[E(t)\Delta(t)\right]'-\alpha^2E^3(t)\frac{\Delta(t)}{K(t)}+\frac{1}{2}F'(t)\left(e^{\gamma t}-A_2\right)\left[E^2(t)-K^2(t)\right]'+$$
$$\left.+2\alpha E^3(t)\Delta(t)F'(t)\left(e^{\gamma t}-A_2\right)\right\}.$$

После обработки выражения (4) символьным процессором системы Maple и группировки членов получим следующую формулу для наследственной функции $R(t,\tau)$:

$$R(t,\tau)=-\frac{1}{E(t)}\left\{K(\tau)^2F'(\tau)\left(e^{\gamma\tau}-A_2\right)-K'(\tau)-\left[\frac{E'(\tau)\left(e^{\gamma\tau}-A_2\right)e^{-\eta}}{1+\Delta(\tau)E(\tau)}-\right.\right.$$
$$-\left[E(\tau)\left(e^{\gamma\tau}-A_2\right)e^{-\eta(\tau)}\left[\Delta(\tau)E'(\tau)-\frac{\left(A_1-A_3\right)E(\tau)}{\tau^2}\right]\right]\left(1+\Delta(\tau)E(\tau)\right)^{-2}+ \qquad (5)$$
$$\left.\left.+\frac{E(\tau)\gamma e^{\gamma\tau}e^{-\eta}}{1+\Delta(\tau)E(\tau)}\right]u(\tau)B_3(t)e^{-\mu(t)(t-\tau)}\right\},$$

где $u(\tau)=\int_{\tau}^{t}K(\tau)F'(\tau)e^{\eta(\tau)}d\tau$;

$$\mu(t)=B_3(t)^{-1}\left\{\left[\left[\frac{2A_3}{t^3\left(e^{\gamma t}-A_2\right)}+\frac{2A_3\gamma e^{\gamma t}}{t^2\left(e^{\gamma t}-A_2\right)^2}-\frac{\vartheta_3(t)\gamma^2e^{\gamma t}}{\left(e^{\gamma t}-A_2\right)^2}+\frac{2\vartheta_3(t)\gamma^2e^{2\gamma t}}{\left(e^{\gamma t}-A_2\right)^3}\right]\left(e^{\gamma t}-A_2\right)\times\right.\right.$$
$$\times\left[E^2(t)-\frac{E^2(t)}{\vartheta_1(t)}\right]+F'(t)\gamma e^{\gamma t}\left[E^2(t)-\frac{E^2(t)}{\vartheta_1(t)}\right]+F'(t)\left(e^{\gamma t}-A_2\right)\left[2E(t)E'(t)-2E(t)\frac{E'(t)}{\vartheta_1^2(t)}+\right.$$
$$\left.+2E^2(\tau)\frac{\vartheta_2(t)}{\vartheta_1^3(t)}\right]-2\alpha\Delta(t)E(t)E'(t)+\alpha E^2(t)\frac{\left(A_1-A_3\right)}{t^2}-E_0\beta^2\frac{e^{-\beta t}}{\vartheta_1(t)}-2E'(t)\frac{\vartheta_2(t)}{\vartheta_1^2(t)}-$$
$$-\frac{E(t)}{\vartheta_1^2(t)}\left[2\left(A_1-A_3\right)\frac{E(t)}{t^2}-2\left(A_1-A_3\right)\frac{E'(t)}{t^2}-\Delta(t)\beta^2e^{-\beta t}\right]+2E(t)\frac{\vartheta_2^2(t)}{\vartheta_1^3(t)}+E_0\beta^2e^{-\beta t}+$$
$$+\gamma e^{\gamma\tau}F'(t)\left[E^2(t)-K^2(t)\right]-F'^2(t)\left(e^{\gamma t}-A_2\right)^2\left[E^3(t)-K^3(t)\right]-$$
$$-\alpha E(t)\left[\Delta(t)E(t)-\left(A_1-A_3\right)\frac{E(t)}{t^2}\right]-\alpha^2E^3(t)\frac{\Delta(t)}{K(t)}+\frac{1}{2}F'(t)\left(e^{\gamma t}-A_2\right)\times$$
$$\left.\times2\left[E(t)E'(t)-E(t)\frac{E'(t)}{\vartheta_1^2(t)}+E^2(t)\frac{\vartheta_2(t)}{\vartheta_1^3(t)}\right]+2\alpha E^3(t)\Delta(t)F'(t)\left(e^{\gamma t}-A_2\right)\right\};$$

$$\vartheta_1(\tau) = 1 + \Delta(\tau)E(\tau);\ \vartheta_2(\tau) = \Delta(\tau)E'(\tau) - \frac{(A_1 - A_3)E(\tau)}{\tau^2};\ \vartheta_3(\tau) = C_3 + \frac{A_3}{\tau}.$$

Интегралы $\eta(\tau)$ и $u(\tau)$, входящие в выражение (5), вычисляем численно с помощью формулы трапеций.

Графики функции $R(t,\tau)$ для бетона различного «возраста», построенные на базе формулы (5), показаны на рис. 2. Здесь номера линий соответствуют значениям параметра τ (в сутках): 1 — $\tau = 2$; 2 — $\tau = 4$; 3 — $\tau = 6$; 4 — $\tau = 10$; 5 — $\tau = 20$; 6 — $\tau = 30$. Значения констант принимались равными [1]: $\tilde{N}_1$ = 9,9388·10^{-11} (Н/м^2)$^{-1}$; $\tilde{N}_3$ = 7,7064·10^{-11} (Н/м^2)$^{-1}$; A_1 = 4,7095·10^{-10} сут./(Н/м^2); A_2 =1; A_3 =3,4822·10^{-10} сут./(Н/м^2); E_0 =2,55·10^{10} Н/м^2; α =6 сут.$^{-1}$; γ = 0,03 сут.$^{-1}$; β = 0,206 сут.$^{-1}$

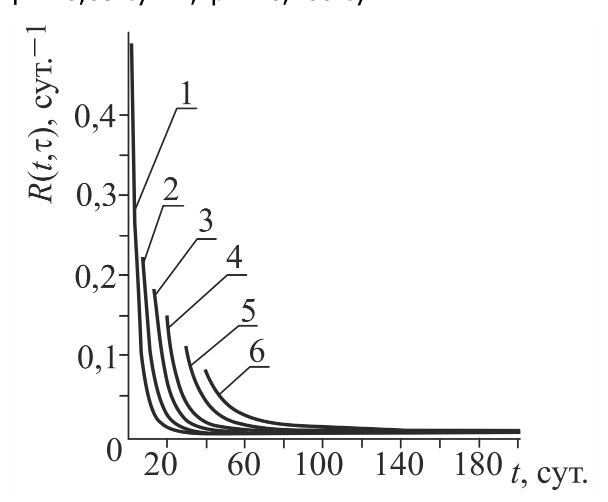


Рис. 1. Графики функции $R(t,\tau)$ в теории старения

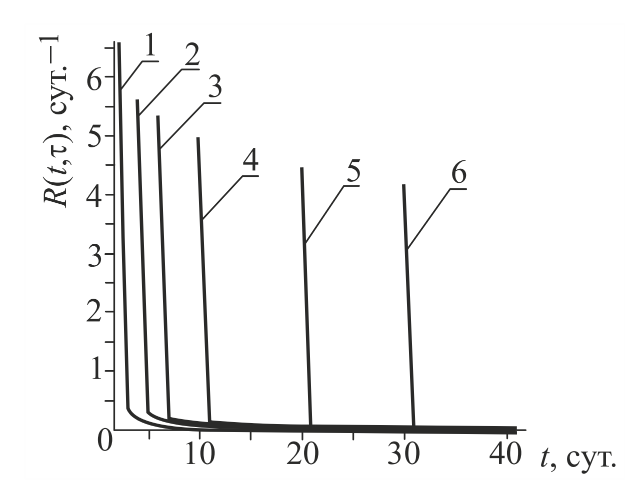


Рис. 2. Графики функции $R(t,\tau)$ в теории наследственного старения

Отличительная особенность графиков рис. 2 от графиков рис. 1 — резкое убывание функции $R(t,\tau)$ в момент времени $t = \tau$, что с физической точки зрения отражает наблюдаемое на практике явление «мгновенной» ползучести, условно причисляемое к упруго-мгновенной деформации в момент загружения.

Для описания ползучести «старого» бетона можно использовать теорию упругой наследственности с ядром релаксации типа [1]:

$$R(t,\tau) = A_1 e^{-\rho_1(t-\tau)} + A_2 e^{-\rho_2(t-\tau)},$$

где $A_1 = \frac{E_0}{\rho_1 - \rho_2}\left\{(\gamma\psi_0 + \alpha\Delta_0)\left[E_0(\gamma\psi + \alpha\Delta_0) - \rho_2\right] + \alpha^2\Delta_0 + \gamma^2\psi_0\right\}$; $A_2 = E_0(\gamma\psi_0 + \alpha\Delta_0) - A_1$;

$$\rho_{1,2} = \frac{1}{2}\left\{\alpha + \gamma + E_0(\gamma\psi_0 + \alpha\Delta_0) \pm \sqrt{E_0^2(\gamma\psi_0 + \alpha\Delta_0)^2 + (\alpha - \gamma)^2 - 2E_0(\gamma\psi_0 + \alpha\Delta_0)(\alpha - \gamma)}\right\};$$

$\psi_0 = \tilde{N}_3$; $\Delta_0 = C_1 - C_3$.

Конечноэлементная реализация плоской задачи теории ползучести. Линейно-упругие перемещения в глобальной Декартовой системе осей $\{Z_1, Z_2\}$ в произвольной точке конечного элемента (КЭ) задаём с помощью вектора-столбца перемещений $\{u\} = \{u_1 u_2\}^T$. Введём векторы-

столбцы наследственных деформаций $\{\tilde{\varepsilon}\}$, перемещений $\{\tilde{u}\}$ и узловых перемещений $\{\tilde{w}\}$: $\{\tilde{\varepsilon}\} = (1 - \mathbf{R})\{\varepsilon\}$, $\{\tilde{u}\} = (1 - \mathbf{R})\{u\}$, $\{\tilde{w}\} = (1 - \mathbf{R})\{w\}$.

Векторы-столбцы $\{\tilde{\varepsilon}\}$ и $\{\tilde{u}\}$ имеют структуру, аналогичную $\{\varepsilon\}$ и $\{u\}$. Размерность вектора-столбца $\{w\}$ определяется числом узлов КЭ. Установим связь между $\{\tilde{u}\}$ и $\{w\}$ в виде

$$\{\tilde{u}\} = (1 - \mathbf{R})[F]\{w\},$$

где $[F]$ — матрица, образованная из функций формы КЭ. Отметим, что для плоского восьмиузлового КЭ матрица $[F]$ имеет размерность 2×8.

В соответствии с принципом возможных перемещений получим операторно-матричное уравнение

$$[k](1 - \mathbf{R})\{w\} - \{r\} = 0, \qquad (6)$$

где матрица жёсткости $[k]$ и вектор-столбец узловых сил $\{r\}$ КЭ

$$[k] = \int_{v_e} [D]^T [E][D] dv, \quad \{r\} = \int_{v_e} [F]^T \{q\} dv + \int_{s_e} [F]^T \{p\} ds;$$

$\{q\} = \{q_1 q_2\}^T$, $\{p\} = \{p_1 p_2\}^T$ — векторы-столбцы объёмной и распределённой нагрузки, задаваемой в глобальном базисе; v_e — объём, занимаемый КЭ; s_e — поверхность КЭ, к которой приложена распределённая нагрузка. Матрица $[D]$ для восьмиузлового КЭ имеет размерность 3×16. Выражение $[D]$ для плоского полилинейного КЭ получено в работе [6].

Для вычисления интеграла $\mathbf{R}\{w\} = \int_{\tau}^{t} R(t,\tau)\{w(\tau)\} d\tau$ воспользуемся численным методом, основанным на формуле трапеций. Разобьём рассматриваемый временной интервал $[\tau, t]$ на m равноотстоящих временных шагов Δt так, чтобы $t = m\Delta t$. Тогда выражение (6) можно записать в форме

$$\mathbf{R}\{w_m\} \approx \mathbf{R}(t,t)\{w_m\}\Delta t / 2 + \sum_{j=1}^{m-1} \mathbf{R}(t,(m-j)\Delta t)\{w_j\}\Delta t + \mathbf{R}(t,\tau)\{w_1\}\Delta t / 2 - \{r\} = 0$$

или в компактном виде

$$[k_m]\{w_m\} = \{r\} + [k_1]\{w_1\} + [k_j]\{w_j\}\Big|_{j=1,m-1}, \qquad (7)$$

где $[k_m] = [k](1 - \mathbf{R}(t,t)\Delta t / 2$; $[k_1] = [k](1 - \mathbf{R}(t,\tau)\Delta t / 2$; $[k_j] = [k](1 - \mathbf{R}(t,(m-j)\Delta t)\Delta t$.

В выражении (7) вектор-столбец $\{w_1\}$ соответствует упруго-мгновенному решению задачи. Рассмотренная шаговая конечноэлементная процедура реализована на языке FORTRAN. В расчётных моделях полилинейные КЭ можно ансамблировать с плоскими стержневыми КЭ балочного типа.

Числовые примеры. *Мгновенное нагружение и последующая ступенчатая разгрузка призматического бетонного образца с размерами 6×6×30 см.* Характеристики материала были приведены ранее. «Возраст» бетона в момент нагружения образца — τ = 28 сут., момент времени распалубки — τ_1 = 2 сут. Учитывая симметрию задачи, рассмотрим ½ часть образца и применим равномерную конечноэлементную разбивку 2×8 (2 КЭ по ширине и 8 КЭ по высоте). Шаг интегрирования Δt принимаем равным 1 сут. График полного перемещения нагруженного торца образца на интервале наблюдения t = 28…200 сут. приведён на рис. 3.

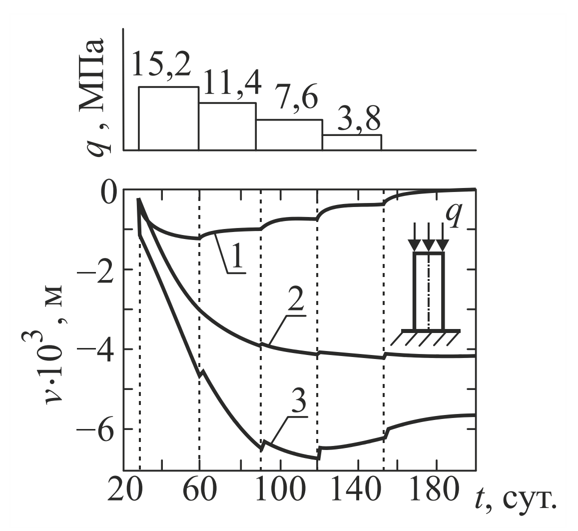


Рис. 3. Ступенчато-убывающий закон нагружения призматического образца:
1 — теория упругой наследственности; 2 — теория старения; 3 — теория наследственного старения

Как видно из представленных данных, для модели упругой наследственности (линия 1) выполняется постулат о полной обратимости деформаций ползучести. Для модели упруго-ползучего тела (линия 3) характерна частичная обратимость неупругих деформаций ползучести, что соответствует результатам аналогичного натурного эксперимента А. Д. Росса [1, 3].

Ползучесть однопролётной железобетонной балки, мгновенно нагруженной сосредоточенной силой посередине пролёта (рис. 4). Размеры балки приведены в метрах. Диаметр арматуры — 8 мм. Модуль упругости арматуры $2{,}1 \cdot 10^5$ МПа. Разбивку балки на плоские КЭ выполняем сеткой 6×40 КЭ (6 КЭ по высоте и 40 КЭ по длине). Арматуру моделируем стержневыми КЭ (40 КЭ). Шаг интегрирования — $\Delta t = 1$ сут.

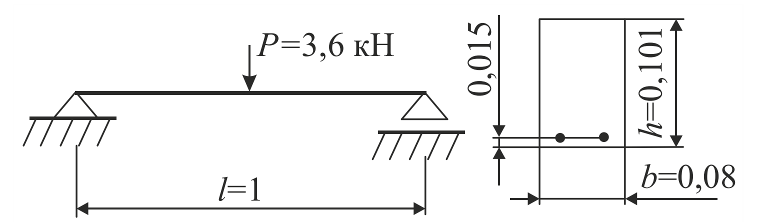


Рис. 4. Расчётная схема однопролётной железобетонной балки

Рассмотрим два варианта армирования: I — арматура расположена в нижней (растянутой) половине балки, II — симметричное армирование растянутой и сжатой частей балки. Результаты численного моделирования процесса ползучести в виде графиков зависимости прогиба f_{max} в центре пролёта от времени наблюдения t и «возраста» бетона τ представлены на рис. 5.

На рис. 5 штриховые линии относятся к варианту армирования I, сплошные линии — к варианту армирования II; номера линий 1 и 2 соответствуют значениям параметра τ, равным 14 и 28 сут. Момент времени распалубки $\tau_1 = 2$ сут. Значения упруго-мгновенного прогиба $f_{max}(\tau)$ для вариантов армирования I и II соответственно составляют $0{,}4890 \cdot 10^{-3}$ м и $0{,}4199 \cdot 10^{-3}$ м.

Как видно из представленных на рис. 5 графиков, наличие арматуры в сжатой зоне балки обусловливает снижение ползучести для всех реализованных моделей бетона. Вместе с тем только модели теории старения (рис. 5, *б*) и теории наследственного старения (рис. 5, *в*) описывают наблюдаемую на практике быстро натекающую деформацию ползучести $f_{max}(\tau+1)$, возникающую

сразу после упруго-мгновенной деформации балки. Значения $f_{max}(t)/f_{max}(\tau)$ и $f_{max}(t)/f_{max}(\tau+1)$, где t = 150 сут. для теории старения и теории наследственного старения приведены в табл.

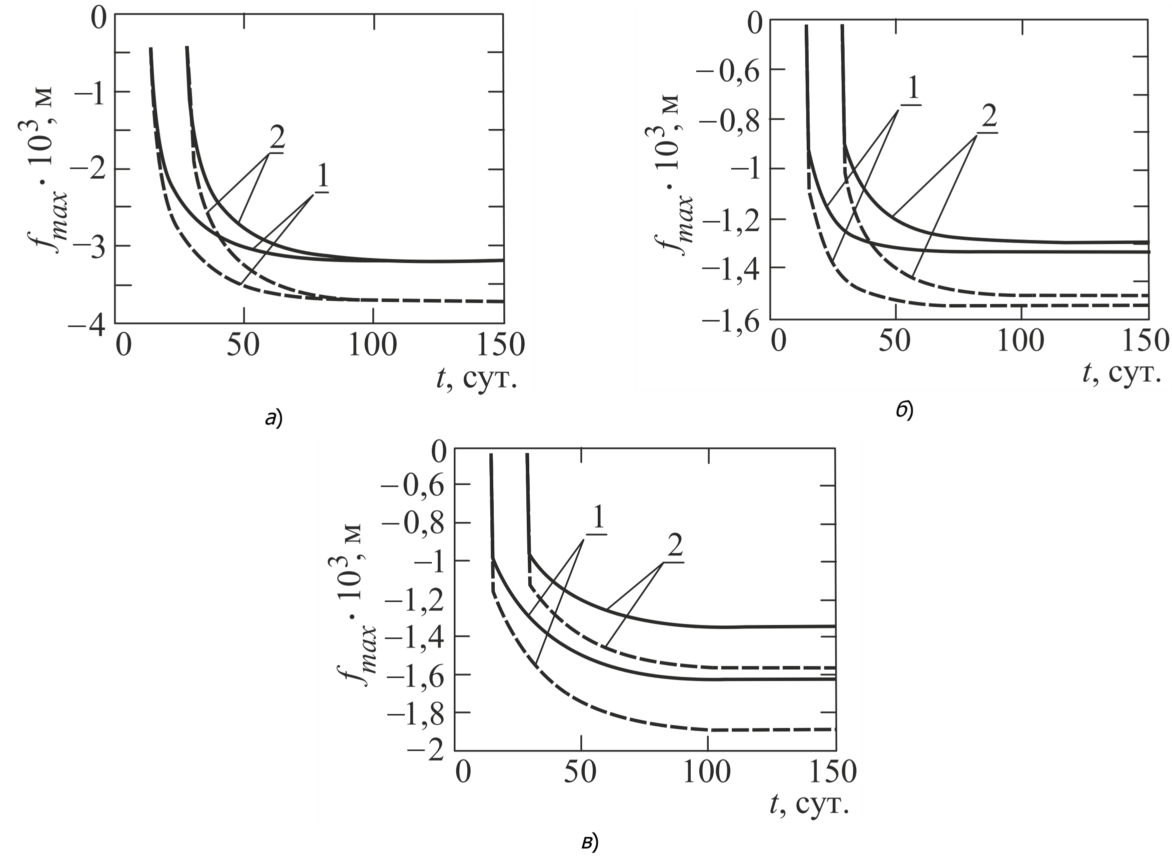


Рис. 5. Графики $f_{max}(t)$ для железобетонной балки:

а — теория упругой наследственности; б — теория старения; в — теория наследственного старения

Значения $f_{max}(t)/f_{max}(\tau)$ и $f_{max}(t)/f_{max}(\tau+1)$ для однопролётной балки

Теория	$f_{max}(t)/f_{max}(\tau)$		$f_{max}(t)/f_{max}(\tau+1)$	
	τ = 14 сут.	τ = 28 сут.	τ = 14 сут.	τ = 28 сут.
Теория старения	3,19	3,09	1,44	1,44
Теория наследственного старения	3,87	3,21	1,63	1,39

Из приведённых в табл. данных следует, что значения $f_{max}(t)/f_{max}(\tau+1)$, соответствующие теории старения, для моментов времени τ = 14 сут. и τ = 28 сут. совпадают. Тогда как в действительности по мере «старения» бетона это отношение должно уменьшаться. Отметим, что данный эффект адекватно описывает теория наследственного старения.

Выводы.

1. В рамках теории старения и теории наследственного старения с помощью символьного процессора компьютерной математики Maple получены выражения для ядер релаксации, удобные для программирования.

2. Разработана и программно реализована шаговая процедура метода конечных элементов, позволяющая моделировать процессы последействия в бетонных и железобетонных конструкциях с учётом старения бетона.

3. На тестовых примерах выполнена численная апробация разработанной конечноэлементной программы.

Библиографический список

1. Александровский, С. В. Расчёт бетонных и железобетонных конструкций на изменения температуры и влажности с учётом ползучести / С. В. Александровский. — Москва: Стройиздат, 1973. — 432 с.

2. Арутюнян, Н. Х. Некоторые вопросы теории ползучести / Н. Х. Арутюнян. — Москва: Гостехтеоретиздат, 1952. — 323 с.

3. Улицкий, И. И. Теория и расчёт железобетонных стержневых конструкций с учётом длительных процессов / И. И. Улицкий. — Киев: Будівельник, 1976. — 347 с.

4. Прокопович, И. Е. Прикладная теория ползучести / И. Е. Прокопович, В. А. Зедгенидзе. — Москва: Стройиздат, 1980. — 240 с.

5. Гайджуров, П. П. Конечно-элементное решение задач теории ползучести / П. П. Гайджуров // Строительная механика и расчёт сооружений. — 2006. — № 1. — С. 52—58.

6. Гайджуров, П. П. Билинейный четырёхузловой конечный элемент для решения двумерных задач теории упругости / П. П. Гайджуров, Э. Р. Исхакова // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. — 2011. — № 4. — С. 7—13.

Материал поступил в редакцию 23.03.2012.

References

1. Alexandrovskiy, S.V. *Raschet betonnykh i zhelezobetonnykh konstruktsiy na izmeneniya temperatury i vlazhnosti s uchetom polzuchesti.* [Concrete and reinforced concrete creep structural analysis for temperature and moisture variations.] Moscow: Stroyizdat, 1973, 432 p. (in Russian).

2. Arutyunyan, N.K. *Nekotoryye voprosy teorii polzuchesti*. [Some issues of creep theory]. Moscow: Gostekhteoretizdat, 1952, 323 p. (in Russian).

3. Ulitskiy, I.I. *Teoriya i raschet zhelezobetonnykh sterzhnevykh konstruktsiy s uchetom dlitelnykh protsessov.* [Theory and analysis of long-term reinforced concrete framed structures.] Kiev: Budivelnyk, 1976, 347 p. (in Russian).

4. Prokopovich, I.E., Zedgenidze, V.A. *Prikladnaya teoriya polzuchesti.* [Applied creep theory.] Moscow: Stroyizdat, 1980, 240 p. (in Russian).

5. Gaidzhurov, P.P. *Konechno-elementnoye resheniye zadach teorii polzuchesti.* [Finite element problem solution of creep theory.] *Stroitelnaya mekhanika i raschet sooruzheniy,* 2006, no. 1, pp. 52–58 (in Russian).

6. Gaidzhurov, P.P., Iskhakova, E.R. *Bileynyy chetyrekhuzlovoy konechnyy element dlya resheniya dvumernykh zadach teorii uprugosti.* [Bilinear 4-noded finite element for creep bidimensional problem solution.] *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskiye nauki,* 2011, no. 4, pp. 7–13 (in Russian).

CONCRETE CREEP THEORY MODELS AND THEIR FINITE-ELEMENT IMPLEMENTATION

P. P. Gaydzhurov
(Don State Technical University),
E. R. Iskhakova
(South-Russian State Technical University)

The finite-element method for the plane problem solution of the concrete creep theory with regard to aging is developed. The expressions based on the formulas for creep values proposed by N. K. Arutyunyan and S. V. Alexandrovsky are used as the hereditary functions of the second kind. The friendly programming expressions for the concrete relaxation kernels are obtained by the symbolic processor. The durable step-by-step algorithm and the appropriate software for performing accounting under the variable loading with regard to the fast incident creep at the initial load and partial reversibility of the creep flow under deloading are developed. The verification of the developed software is carried out on the base of the available experimental data on the creep of the directly compressive prismatic concrete rods and bending concrete beams.
Keywords: *finite-element method, plane problem, hereditary aging theory, numerical integration.*

УДК 631.363

Оборудование для приготовления полнорационных комбикормов в условиях хозяйств

В. И. Пахомов, А. В. Смоленский, А. С. Алфёров
(Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук)

Обоснованы организационно-технологические принципы создания эффективного внутрихозяйственного кормопроизводства на основе блочно-модульного принципа построения отдельных технологических линий и использования этих линий как самостоятельно, так и в составе целых комплексов комбикормовых предприятий. Описан разработанный комплекс машин и оборудования, его технические характеристики и режимы работы этого оборудования при переработке кормовых ингредиентов и приготовлении полнорационных комбикормов. Приведены результаты исследований опытных образцов технологического модуля подготовки и ввода в состав комбикормов жидких обогащающих и лекарственных (витаминных) эмульсий, технологической линии ввода ферментных и других биологически активных добавок (сухих). Разработана принципиальная схема автоматизированного комбикормового цеха на основе блочно-модульного принципа отдельных технологических линий и экономическая эффективность её применения в условиях хозяйств.
Ключевые слова: *комбикорма, смесители, дробилки, блочно-модульная система.*

Введение. Обеспечение продовольственной безопасности нашей страны во многом зависит от стабилизации и развития животноводства, так как доля импортируемого мяса в России составляет 41 %, молока — 27 %. Основным условием подъёма животноводства и птицеводства является совершенствование системы кормления на основе высокоточного балансирования кормовых смесей, с учётом потребности каждого вида и половозрастных групп животных и птицы.

Увеличение объёмов производства молока, мяса и яиц будет происходить преимущественно за счёт интенсификации, а значит, должна повыситься роль кормления, сбалансированного по всем элементам. При этом кормовые ингредиенты рациона должны быть высокого качества, обеззараженные от вредных микроорганизмов и токсинов.

Только при сбалансированном кормлении животные и птица максимально проявляют свой генетический потенциал продуктивности. При этом резко снижаются затраты кормов на 1 кг прироста массы. Так, при откорме свиней, затраты кормов снижаются с 7,0—8,0 до 3,4—4,0 кормовых единиц (к. ед.).

В целом по хозяйствам России затраты кормов на 1 ц молока превышают нормативные в 1,4 раза и составляют 1,33 ц к. ед., а на привесы 1 ц говядины — превышают в 2,3 раза и составляют 14,5 ц к. ед., затраты на 10 шт. яиц составляют 2,1—2,2 к. ед., тогда как при скармливании высококачественных, точно сбалансированных комбикормов эти затраты не превышают 1,2—1,3 к. ед. Наиболее полно удовлетворяют потребностям животных и птицы в необходимых питательных веществах, аминокислотах, витаминах, микроэлементах, жирах и переваримом белке полностью сбалансированные комбикорма, в которые кроме вышеперечисленных веществ входят мультиэнзимные композиции, ароматизаторы, подкислители, ввод которых позволяет увеличить привесы животных, смягчить стресс при отъёме, улучшить сохранность и снизить расход кормов.

Основные принципы создания блочно-модульного внутрихозяйственного кормопроизводства. Одним из альтернативных путей решения проблемы получения полнорационных, высокопитательных и относительно дешёвых комбикормов, наряду с совершенствованием и реорганизацией промышленной комбикормовой отрасли, явилось развитие внутрихозяйственного сектора производства комбикормов.

Эффективность производства комбикормов в условиях хозяйств определяется множеством различных факторов. В Северо-Кавказском НИИМЭСХ Россельхозакадемии были определены и сформулированы основные организационно-технологические принципы создания наиболее эффективного внутрихозяйственного кормопроизводства, к которым, в частности, относятся:

- использование в хозяйствах в максимальной степени собственной сырьевой базы, существующей технологической оснащённости, капитальных строений;
- блочно-модульное формирование структуры комбикормовых предприятий, обеспечивающее возможность её адаптивной трансформации к индивидуальным особенностям сельхозпроизводителя;
- применение энергосберегающих технологий и оборудования, обеспечивающих снижение затрат и производство высокопитательных комбикормов;
- обеспечение тесной интеграционной связи между производством комбикормов и животноводством, предполагающей адекватность технологии производства потребностям животноводства, как в объёмах, так и в качественных показателях.

Блочно-модульный принцип построения отдельных технологических линий обеспечивает их использование как самостоятельно, так и в составе комплекса, что помогает строить комбикормовое предприятие поэтапно. Кроме того, можно использовать при этом многоуровневое автоматизированное управление технологическим процессом производства комбикормов — от уровня технологических линий до комплекса в целом, гарантируя соблюдение требуемого режима, а, следовательно, и качество комбикорма.

Для реализации на практике разработанной блочно-модульной схемы внутрихозяйственного комбикормового предприятия нового поколения был проведён широкий ряд исследований по разработке принципиально новых энергосберегающих процессов подготовки различных компонентов комбикормов и оптимизации конструктивно-технологических параметров оборудования. На их основе создан базовый комплект оборудования, включивший в себя автоматизированный комбикормовый агрегат для измельчения, электронного дозирования и смешивания компонентов АКА-3.322 (рис. 1) с мощностью электродвигателей, равной 45,1 кВт.

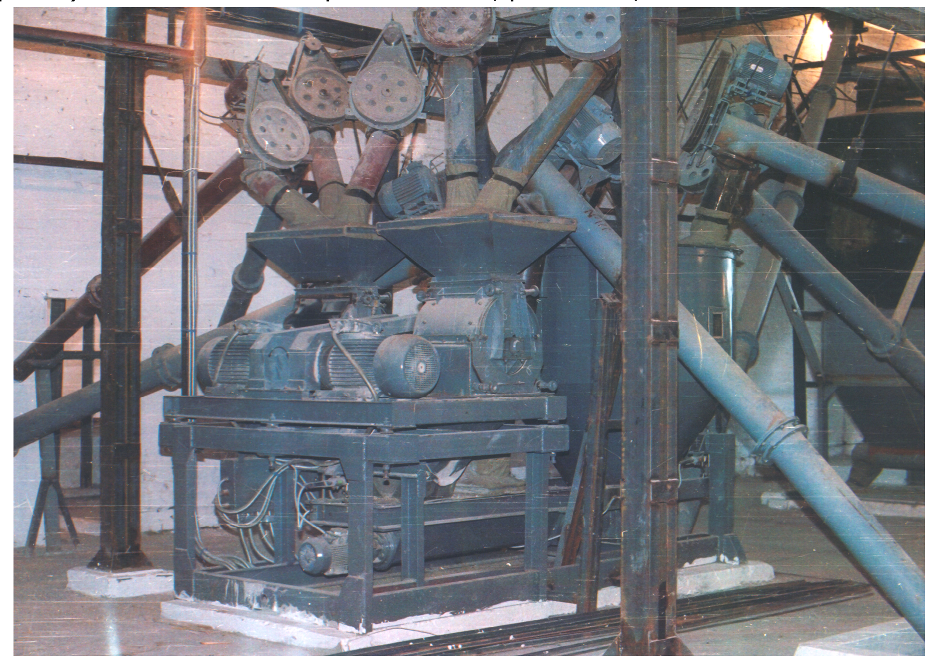


Рис. 1. Автоматизированный агрегат АКА-3.322 в линии подготовки зерновых компонентов

Агрегат легко монтируется и не требует больших помещений, применение тензометрической системы весового дозирования позволяет уменьшить погрешность дозы до 1,5 %, при этом однородность смешивания составляет не менее 93 %.

Для приёма и подачи кормовых компонентов разработаны и выпускаются промышленностью бункеры-питатели: БД-2, БД-1, БД-1,5.

Для измельчения компонентов комбикормов разработаны дробилки кормов, которые могут применяться как в составе технологических линий кормоцеха, так и самостоятельно. Это молотковые дробилки АДК-1Э (ДМ-5), ДМ-8, вертикальные дробилки ВД-1 и ВД-3 [1, 2], техническая характеристика которых представлена в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики дробилок

Параметры	ДМ-5	ДМ-10	Р1-БДК-5М	ВД-1	ВД-3
Производительность, т/ч	4—6	8—10	4—5	0,8—1,0	3,0
Мощность электродвигателя, кВт	18,5	30,0	38,75	5,5	11
Количество молотков, шт.	64	96	—	8—24	8—24
Частота вращения ротора, мин$^{-1}$	3200	2950	—	4700	3200
Диаметр отверстий решета, мм	3,2; 4,2; 6,3; 8,0	3,2; 4,2; 6,3; 8,0	3,0; 5,0; 7,0	2,0; 3,0; 4,0	2,0; 3,0; 4,0
Габаритные размеры, мм	1314х1070х1650	1840х1040х1260	—	880х470х330	1100х1750х600
Масса, кг	670	860	1000	136	280

Эти дробилки имеют меньшую энергоёмкость процесса измельчения за счёт выбора более рациональных кинематических и конструктивных параметров.

Для шелушения ячменя была разработана шелушилка ШЗ-01.

Для смешивания компонентов комбикорма авторами совместно с ООО «Агротехнопарк» разработаны и выпускаются смесители кормов: вертикальные УСК-3, УСК-6; горизонтальные СК-15Н, СК-15П, СК-3, технические характеристики которых приведены в таблице 2.

Таблица 2

Технические характеристики смесителей

Параметры	СК-15Н	СК-3	УСК-3	УСК-6	Р1-БСК
Производительность при: периодическом, непрерывном режиме смешивания, т/ч	2,0 10,0	6,0 —	4,0 —	6,0 —	до 6,0 —
Однородность смешивания при: периодическом, непрерывном режиме, %	95,0 90,0	95,0 —	93,0 —	90,0 —	до 95,0 —
Продолжительность смешивания при периодическом смешивании, мин	4,0	6,0	3,0	4,0	3—7
Ёмкость, м^3	0,6	3,0	2,0	6,0	2,2
Установленная мощность электродвигателя, кВт	5,5	7,5	8,1	14,0	7,5
Габаритные размеры, мм	2200х800х1600	2500х1850х2050	2850х2450х2480	3770х3150х3350	2530х1300х2800
Масса, кг	500	800	1200	2200	480

Для балансирования комбикормов обогащающими и лекарственными микродобавками (премиксами) в условиях внутрихозяйственного комбикормового цеха авторами совместно с ООО «Канио» была разработана установка АП-100 (рис. 2), включающая приёмный бункер для наполнителя, смеситель предварительного смешивания микроингредиентов и наполнителя, смеситель-нормализатор для окончательного смешивания, шнеки и механизм привода, электрозадвижки и шкаф управления АСУ ТП с микропроцессором.



Рис. 2. Общий вид агрегата АП-100

Технические характеристики агрегатов АКА-3.322 и АП-100 представлены в таблице 3. Такие агрегаты успешно эксплуатируются в ЗАО «Русь» Белгородской области, в ЗАО «Родина» Новокубанского района Краснодарского края и других хозяйствах. Как показала практика, затраты на создание линии (агрегата) приготовления премиксов окупаются в первые полгода эксплуатации.

Таблица 3

Технические характеристики агрегатов

Параметры	АКА-3.322	АП-100
Производительность, т/ч	3—5	до 0,2
Установленная мощность, кВт	45,1	10,7
Потребляемая мощность, кВт	не более 25,0	7,0
Однородность смешивания, %	93,0	97,0
Погрешность дозирования, %	±1,0	±0,3
Ёмкость бункера (смесителя-дозатора), м^3	2,0	—
Ёмкость смесителя предварительного смешивания, м^3	—	0,03
Ёмкость смесителя основного смешивания, м^3	—	0,10
Ёмкость приёмного бункера, м^3	—	1,0
Габаритные размеры, мм	3520x1820x2226	3995x2173x2970
Масса, кг	2300	400

Для управления технологическим процессом приготовления комбикормов авторами совместно с ООО «Канио» разработана и успешно применяется автоматизированная система управления на базе отечественной микропроцессорной техники, полностью адаптированной к условиям сельской местности и её современной технологической базе, позволяющая работать с 12 компонентами комбикормов и любым вспомогательным технологическим оборудованием.

Вышеперечисленное оборудование позволяет комплектовать комбикормовые предприятия производительностью от 2 до 12 т/ч.

Особое внимание в последнее время авторами уделяется созданию технологических модулей: приготовления и ввода ферментных и других биологически активных добавок в сухом виде, повышающих усвояемость кормовых компонентов и кормовую ценность кормовых смесей; приготовления и ввода жидких обогащающих и лекарственных (витаминных) эмульсий; высокоинтенсивной тепловой обработки ингредиентов комбикорма с использованием конвективного нагрева и СВЧ-нагрева.

Экспериментальными исследованиями рабочего процесса опытных образцов установлено, что базовое оборудование:

- технологической линии ввода ферментных и других биологически активных добавок (сухих) в состав комбикормовых смесей на базе агрегата для приготовления обогащающих и лекарственных добавок АП-100 надёжно выполняет технологический процесс и удовлетворяет агрозоотехническим требованиям к подготовке компонентов и качеству приготовленных обогащающих смесей. Так, однородность смеси по технологической линии в целом составляет 96,3 %, точность дозирования — ±0,18 %, производительность за час основного времени — 215 кг/ч при удельных затратах энергии 27,7 кВт·ч/т. Коэффициент надёжности выполнения технологического процесса — 0,99;
- технологического модуля подготовки и ввода в состав комбикормов жидких обогащающих и лекарственных (витаминных) эмульсий (рис. 3) достигает требуемой однородности смешивания (не ниже 95 %) комбикорма с потоком жидкого компонента (растительное масло или масловодная эмульсия при температуре 50—55 °С) при частоте вращения валов смесителя с вильчатыми лопатками равной 250—300 мин$^{-1}$ и длительности смешивания 4—5 мин (в режиме циклического действия). Доза внесения масла при этом 2—3 % (по массе). Удельная энергоёмкость процесса при рациональных параметрах и режимах работы смесителя составила 0,27—0,31 кВт·ч/т. Производительность смесителя 3,1 т/ч [3].



Рис. 3. Технологический модуль ввода жидких обогащающих добавок и лекарственных (витаминных) эмульсий

При работе технологического модуля в непрерывном цикле, когда компоненты комбикорма подаются в смеситель в виде «слоёного пирога», требуемая однородность смешивания комбикорма и растительного масла (водомасляной эмульсии) достигнута при размещении форсунок по длине смесителя с шагом 500 мм; угол установки вильчатых лопастей смешивающих валов соста-

вил 45°; частота вращения валов — 310 мин$^{-1}$; температура жидких добавок — 55 °С; форсунки — центробежные; диаметр отверстий форсунок — 1,5 мм; рабочее давление масла в системе — 0,3 МПа. Производительность технологического модуля при этих параметрах составила 12,6—15,1 т/ч, в зависимости от рецепта приготавливаемого комбикорма, при удельных затратах энергии 0,32—0,35 кВт·ч/т.

В соответствии с принятой технологией подготовки кормовых компонентов и приготовления полнорационных комбикормов в условиях сельскохозяйственного производства были разработаны базовые варианты технических предложений на создание хозяйственных комбикормовых цехов производительностью 16—24, 45—50, 60—80, 120—160 т/смену.

Так, базовый вариант размещения оборудования комбикормового цеха производительностью 45—40 т/смену, представленный на рис. 4, предполагает следующую комплектацию: отделение приёма и очистки зернофуража в составе бункера ВС-06, сепаратора зернофуража СФ-50, подающего и распределительного шнеков; размольно-смесительное отделение, включающее бункер зерновых компонентов, комбикормовые агрегаты АКА-3.322, загружающие шнеки; отделение приготовления белково-минерально-витаминных добавок в составе бункеров добавок БД-1,5, дробилки молотковой ДМ-5, смесителя УСК-3, системы шнековых транспортёров для подачи компонентов БМВД и выдачи готовой смеси; отделение приготовления жидких добавок в составе оперативной ёмкости, форсунок, насоса; отделение хранения и выдачи готового комбикорма, включающее бункера готовой продукции со шнеками выдачи; отделение приготовления обогащающих и лекарственных добавок на базе агрегата АП-100.

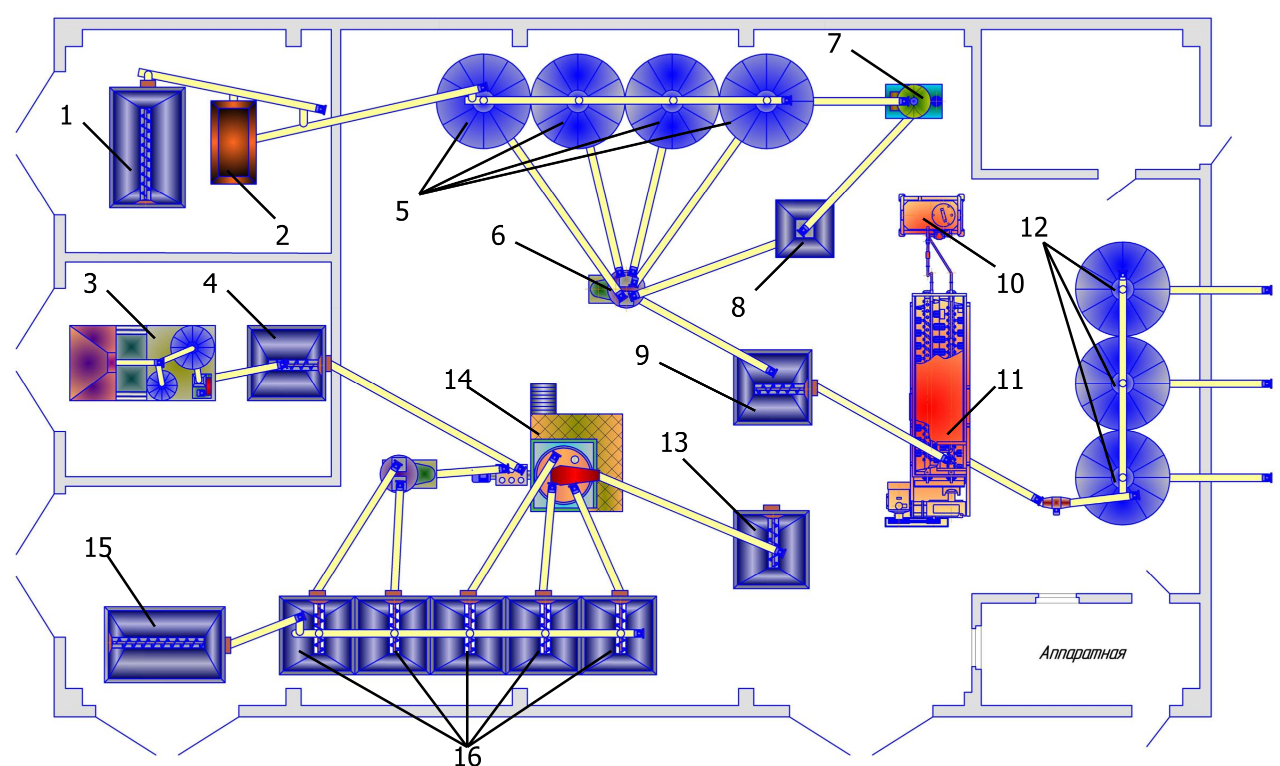


Рис. 4. Схема комбикормового цеха производительностью 45—50 т/смену:
1, 15 — бункер добавок БД-15-1; 2 — сепаратор зернофуража СЗ-50; 3 — агрегат приготовления премиксов и лекарственных смесей АП-100; 4 — бункер добавок БД-5; 5, 8, 12, 13, 16 — бункер загрузочный для зерновых компонентов; 6 — дробилка молотковая; 7 — шелушитель зерна ШЗ-01М; 9 — бункер промежуточный на весах; 10 — модуль подготовки и ввода в состав комбикормов жидких обогащающих и лекарственных (витаминных) эмульсий; 11 — горизонтальный смеситель кормов СК-15; 14 — вертикальный смеситель ВС-02

Управление технологическим процессом приготовления комбикорма осуществляется с помощью автоматизированной системы управления на базе микропроцессорной техники.

Заключение. СКНИИМЭСХ совместно с партнёрами (ООО «Агротехнопарк», ЗАО «Грант», ООО «Канио» и другими предприятиями) построено более 90 и реконструировано более 200 комбикормовых предприятий нового поколения в 19 регионах Российской Федерации.

Применение внутрихозяйственных комбикормовых предприятий позволило повысить продуктивность животных и птицы на 15—18 %, снизить энергоёмкость процесса приготовления полнорационных комбикормов в 1,4—1,6 раза. Фактический годовой эффект одного предприятия составил в среднем около 4 млн рублей, срок окупаемости капитальных вложений — 1,5—2 года.

Библиографический список

1. Ястребов, А. В. Система производства комбикормового оборудования и монтажа кормоцехов / А. В. Ястребов, В. А. Ястребов, В. И. Пахомов // Техника в сельском хозяйстве. — 2007. — № 1. — С. 19—22.

2. Молотковая дробилка с вертикальным валом ротора: патент на полезную модель Рос. Федерация: F26 B3 / 14 / Н. И. Бахчевников, Е. С. Кочегура, В. А. Михайлов, А. В. Смоленский. — № 2011126793 / 13; заявл. 29.06.11; опубл. 27.11.11, Бюл. № 33. — 3 с.

3. Смоленский, А. В. Установка для смешивания водно-масляных эмульсий с сухими компонентами комбикорма / А. В. Смоленский, А. С. Алфёров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 2011. — № 8. — С. 19—20.

Материал поступил в редакцию 11.07.2012.

References

1. Yastrebov, A.V., Yastrebov, V.A., Pakhomov, V.I. *Sistema proizvodstva kombikormovogo oborudovaniya i montazha kormotsekhov*. [Production system of feed equipment and feed rooms assembly.] *Tekhnika v selskom khozyaystve,* 2007, no. 1, pp. 19–22 (in Russian).

2. Bakhchevnikov, N.I., Kochegura, E.S., Mikhailov, V.A., Smolenskiy, A.V. *Molotkovaya drobilka s vertikalnym valom rotora: patent na poleznuyu model Ros. Federatsiya: F26 B3 / 14* [Hammer grinder with vertical-shaft rotor: utility model patent RF: F26 B3 / 14], no. 2011126793/13, 2011 (in Russian).

3. Smolenskiy, A.V., Alferov, A.S. *Ustanovka dlya smeshivaniya vodno-maslyanykh emulsiy s sukhimi komponentami kombikorma*. [Unit for water-oil emulsions and dry feed ingredients mixing.] *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva*, 2011, no. 8, pp. 19–20 (in Russian).

COMPLETE FEED EQUIPMENT UNDER INTRAFARM CONDITIONS

V. I. Pakhomov, A. V. Smolenskiy, A. S. Alferov
(North Caucasian Research Institute of Agricultural Engineering and Electrification of Agriculture, Russian Academy of Agricultural Sciences)

Organization and engineering concepts of establishing the productive intrafarm feed manufacture based on the building block system of separate processing lines and their use, both independently and as part of the whole feed-milling complexes, are proved. The developed system of machinery and equipment, its technical features, and operating modes of this equipment under the feed ingredients processing and complete feed making are described. The research on the process module prototypes of preparing and applying liquid fortifying and medicinal (vitamin) emulsions into the complete feed, the processing line of applying enzymatic and other nutritional (dry) supplements is resulted. The automated feed workshop basic diagram based on the modular principle of separate processing lines, and economic effectiveness of its application are developed.

Keywords: *mixed feed, mixers, grinders, building block system.*

УДК 631.354:631.362.36

Относительное перемещение компонентов зернового материала по лепесткам жалюзи жалюзийного решета

Д. К. Муратов
(Донской государственный технический университет)

Определены величины перемещений зерна пшеницы и короткой сбоины по лепестку жалюзи вверх и вниз от угла α наклона лепестка жалюзи для различных скоростей υ_B воздушного потока за один период $T = 2\pi/\omega$ колебания верхнего решета. Найдены углы открытия жалюзи и скорости воздушного потока, при которых зерно будет скользить по лепестку жалюзи только вниз, а также углы открытия и скорости воздушного потока, при которых короткая сбоина будет скользить по лепестку жалюзи только вверх. Рассмотрены параметры наклонного воздушного потока и угол наклона лепестков жалюзи в передней части жалюзийного решета, при которых зерно активно перемещается по лепесткам жалюзи вниз и проходит под решето. Даны соответствующие рекомендации.

Ключевые слова: *жалюзийное решето воздушно-решётной очистки зерноуборочного комбайна, зерно, короткая сбоина, лепесток жалюзи.*

Введение. Чтобы обоснованно определить рациональные параметры воздушно-решётных очисток (ВРО) зерноуборочных комбайнов (ЗУК) и установить наиболее эффективные режимы их работы при известных внешних воздействиях и условиях уборки зерновых культур, необходимо изучить детерминированные движения мелкого зернового вороха и отдельных компонентов, входящих в его состав, на рабочих поверхностях жалюзийных решёт ВРО.

Постановка задачи: определить угол открытия жалюзи и скорость воздушного потока, при которых зерно будет скользить по лепестку жалюзи только вниз, определить угол открытия и скорость воздушного потока, при которых короткая сбоина будет скользить по лепестку жалюзи только вверх.

Методы исследования: аналитические методы решения задач, многомерный анализ.

Перемещение компонентов зернового вороха по жалюзи решета. При аналитическом решении подобной задачи можно получить общий, последовательно расширяющийся алгоритм расчёта, в который в дальнейшем следует ввести и вероятностные оценки отдельных процессов, и уточняющие (исходя из результатов экспериментов) коэффициенты. Такой комплексный (детерминированный и вероятностный) подход к решению этих задач позволит сократить время на выбор и разработку необходимых технологических процессов и рабочих органов решётных сепараторов ВРО ЗУК.

На материальную частицу (компонент вороха) действуют сила инерции, сила воздушного потока (всегда направлена вдоль лепестка), сила тяжести и трения (рис. 1).

Чтобы составить дифференциальные уравнения движения материальной частицы по лепестку жалюзи, примем следующие допущения.

1. Кинематика жалюзийного решета одинакова по всей его длине. Замена перемещения рабочего органа по хорде, а не по дуге не даёт существенной ошибки при условии, что $L/r \geq 10$ и $l/r \geq 10$, где L и l — длины соответственно шатуна привода и подвески решётного стана.

2. Угловая скорость вращения ω привода очистки — постоянная величина, т. е. $\omega = const$.

3. На зерно или короткую сбоину на лепестке жалюзи действует сила воздушного давления $P_B \neq 0$.

4. Скорость относительного перемещения тяжёлой частицы по решету вдоль оси $O\xi$ несущественно влияет на значение силы P_B, так как скорость частицы в 7—10 раз меньше скорости воздушного потока.

5. Перемещение тяжёлых частиц вверх и вниз по жалюзийному решету рассматривается в пределах длины язычка жалюзи.

6. Коэффициенты трения f_1 и f_2 зерна и соломы при движении по лепестку жалюзи вверх и вниз одинаковы, т. е. $f_1 = f_2$.

7. Возможные при работе зерноуборочного комбайна продольные и боковые углы наклона поверхностей жалюзийных решёт не учитываются.

На рис. 1 показаны возможные положения зерна и короткой сбоины на жалюзийном решете.

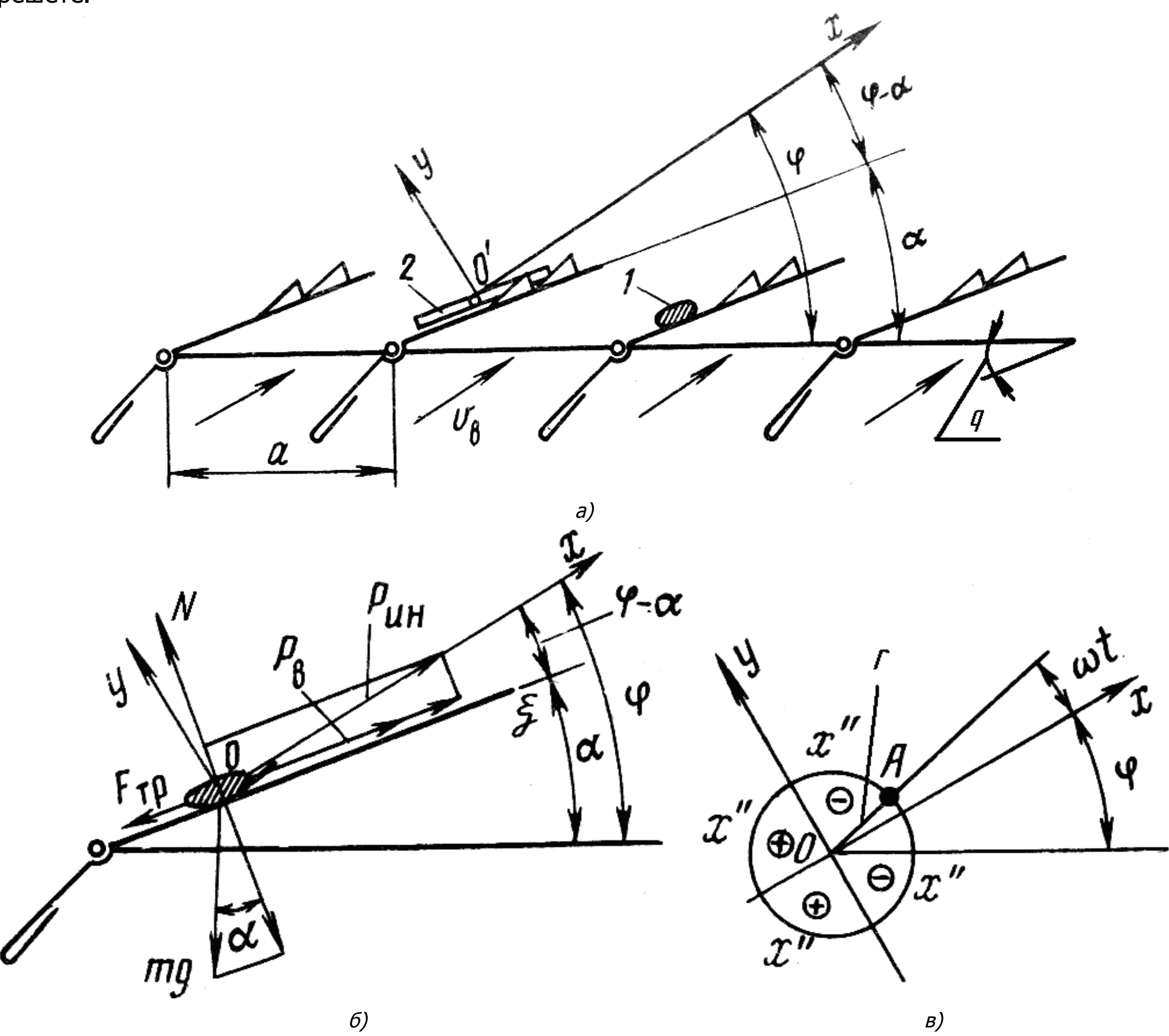


Рис. 1. Схемы положения компонентов вороха на жалюзийном решете (*а*); сил, действующих на тяжёлую частицу на лепестке жалюзи (*б*) и движения точки *А* кривошипа радиусом *r* (*в*): 1 — зерно; 2 — короткая сбоина

Дифференциальное уравнение относительного движения частицы вверх вдоль оси $O\xi$ по наклонной плоскости поверхности лепестка жалюзи с учётом принятых допущений будет следующим:

$$m\frac{d^2\xi_{BB}}{dt^2} = mr\omega^2\cos\omega t\cos(\phi-\alpha) + mk_{П}\upsilon_B^2 - mg\cos\alpha - \left[mg\cos\alpha - mr\omega^2\cos\omega t\sin(\phi-\alpha)\right]\mathrm{tg}\,\phi_1. \quad (1)$$

Дифференциальное уравнение относительного движения частицы вниз по оси $O\xi$ имеет вид:

$$m\frac{d^2\xi_{ВН}}{dt^2} = mr\omega^2\cos\omega t\cos(\phi-\alpha) - mk_П\upsilon_В^2 + mg\sin\alpha - \left[mg\cos\alpha + mr\omega^2\cos\omega t\sin(\phi-\alpha)\right]\mathrm{tg}\,\phi_2. \quad (2)$$

В результате преобразований уравнений (1) и (2) определены [1] перемещения материальной частицы вверх и вниз по лепестку жалюзи:

$$\xi_{ВВ} = \lambda r(1-\cos\omega t) + \left(k_П\upsilon_В^2 - \upsilon\lambda g\right)t^2/2, \quad (3)$$

$$\xi_{ВН} = \mu((1-\cos\omega t) + \left(\mu\sigma g - k_П\upsilon_В^2\right)t^2/2. \quad (4)$$

При рациональной настройке жалюзи воздушно-решётной очистки зерно (как тяжёлая частица) под действием воздушного потока и колебаний жалюзийного решета должно опускаться вниз по лепестку. Это определяет потери зерна в сход с первого решета. В данных условиях короткая сбоина должна не скользить вниз по лепестку жалюзи, а перемещаться вверх по нему за счёт больших коэффициентов парусности. В связи с этим важно выбрать скорость $\upsilon_В$ воздушного потока и угол α открытия жалюзи над первым жалюзийным решетом, обеспечивающие относительное перемещение зерна вниз, а сбоины вверх по лепестку жалюзи на основании результатов расчётов и экспериментов.

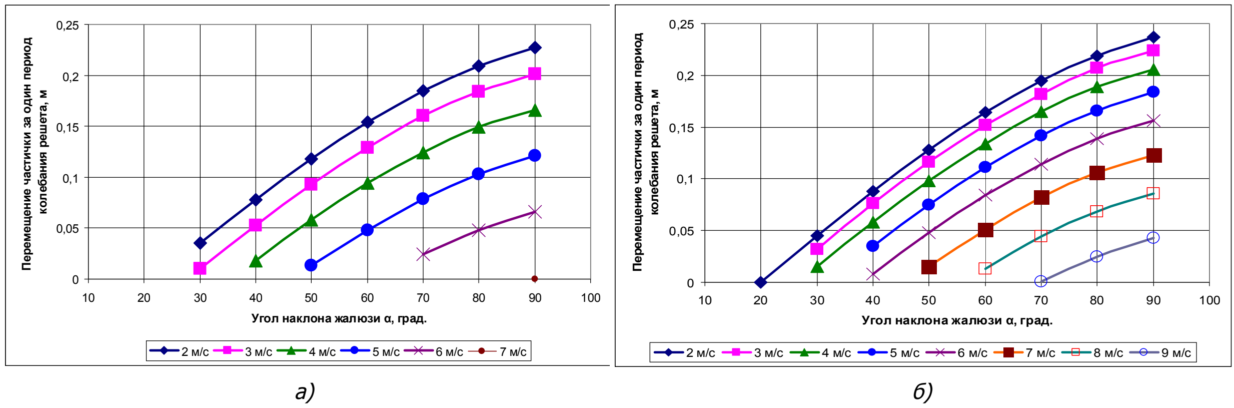


Рис. 2. Зависимость перемещения зерна пшеницы вниз по лепестку жалюзи за один период колебания решета от его угла наклона и скорости воздушного потока: скорость витания $\upsilon_В$ = 7 м/с, коэффициент парусности $к_П$ = 0,2 м$^{-1}$ (*а*); $\upsilon_В$ = 10 м/с, $к_П$ = 0,1 м$^{-1}$ (*б*)

Для многомерного анализа исходные данные для расчёта перемещения зерна по лепестку жалюзи следующие: f_2 = 0,32 (при трении зерна о стальную поверхность); ω = 28 с$^{-1}$; $\omega^2 r$ = 23,5 м/с^2; φ = 30º.

Исходные данные для расчёта перемещения короткой сбоины: f_1 = 0,37 (при трении соломы о стальную поверхность); ω = 28 с$^{-1}$; $\omega^2 r$ = 23,5 м/с^2; φ = 30º.

Результаты расчёта приведены на рисунках 2, 3.

Выводы. Полученные зависимости, часть из которых приведена на рис. 2 и 3, позволяют сделать следующие выводы.

1. По результатам ранее проведённых экспериментальных исследований [2], на начальном участке первого жалюзийного решета ВРО рациональная скорость воздушного потока — 6—6,5 м/с. При такой скорости воздушного потока достигается псевдоожижение слоя мелкого зернового вороха и осадка тяжёлых частиц в нижнюю часть слоя. Однако при углах открытия жалюзи $\alpha \le$ 20º (что соответствует углу наклона гребёнок существующих жалюзийных решёт при очистке зерна пшеницы) и скорости воздушного потока $\upsilon_В$ > 2 м/с проход зерна под жалюзийное решето затруднён (перемещение вниз по лепестку жалюзи).

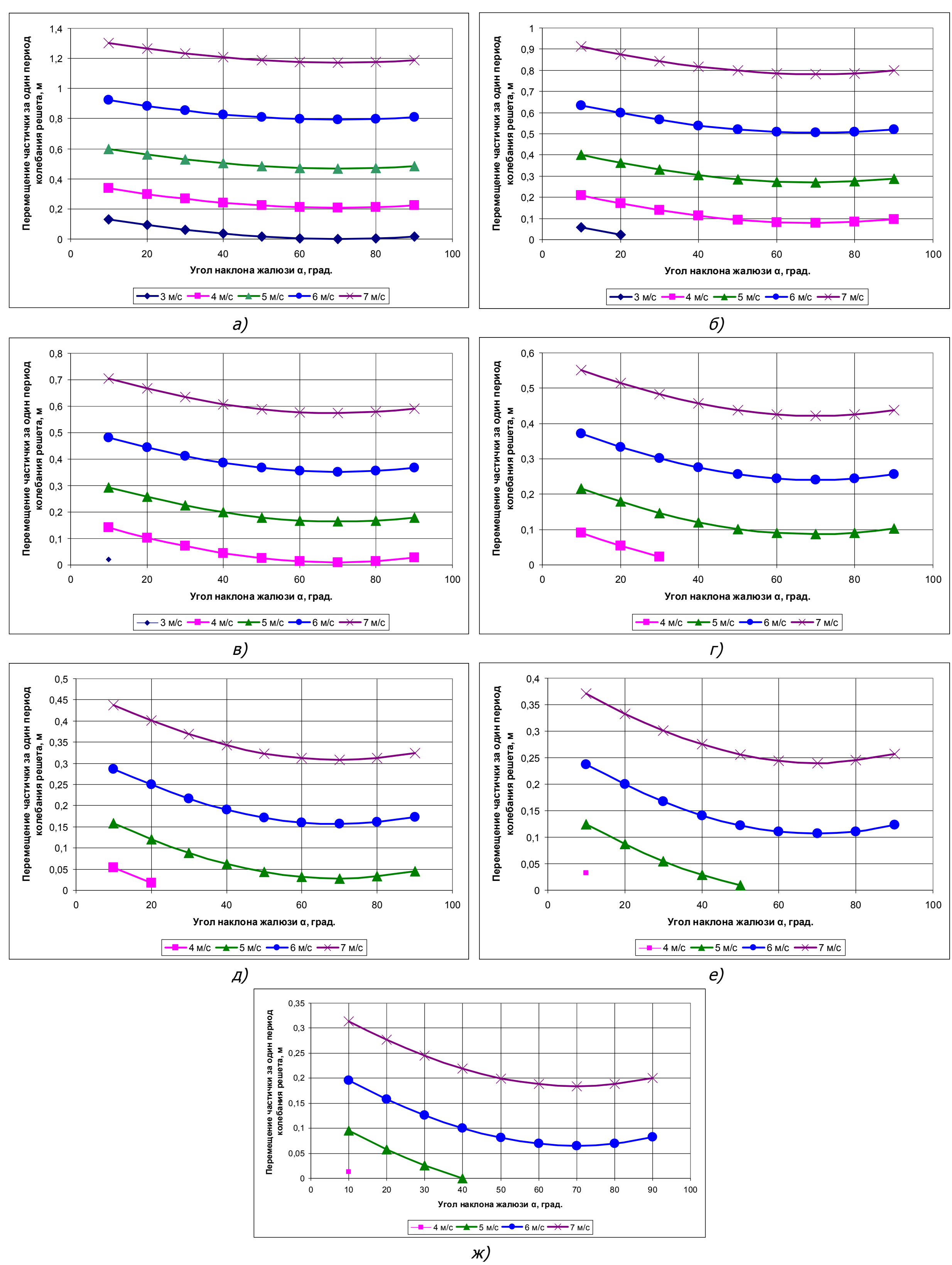


Рис. 3. Зависимость перемещения короткой сбоины вверх по лепестку жалюзи за один период колебания решета от его угла наклона и скорости воздушного потока: длина 20 мм ($\upsilon_В$ = 2,9 м/с, $к_П$ = 1,17 м$^{-1}$) (*а*); длина 30 мм ($\upsilon_В$ = 3,4 м/с, $к_П$ = 0,85 м$^{-1}$) (*б*); длина 40 мм ($\upsilon_В$ = 3,8 м/с, $к_П$ = 0,68 м$^{-1}$) (*в*); длина 50 мм ($\upsilon_В$ = 4,2 м/с, $к_П$ = 0,56 м$^{-1}$) (*г*); длина 60 мм ($\upsilon_В$ = 4,6 м/с, $к_П$ = 0,46 м$^{-1}$) (*д*); длина 70 мм ($\upsilon_В$ = 4,9 м/с, $к_П$ = 0,41 м$^{-1}$) (*е*); длина 80 мм ($\upsilon_В$ = 5,2 м/с, $к_П$ = 0,36 м$^{-1}$) (*ж*)

2. При углах открытия жалюзи $\alpha \geq 70°$ и скорости воздушного потока $\upsilon_B < 7$ м/с зерно скользит по лепестку жалюзи только вниз.

3. Короткая сбоина, имеющая скорость витания $\upsilon_{KP} \geq 4$ м/с, при скорости наклонного воздушного потока $\upsilon_B < 3$ м/с движется только вниз по лепестку жалюзи, что обусловливает повышенную вероятность прохода её под решето. Для удаления соломистых примесей (сбоины) желательно, чтобы значения скорости наклонного воздушного потока были $\upsilon_B > 4$ м/с, а при углах открытия жалюзи — $\alpha > 50°$, $\upsilon_B > 5$ м/с.

4. Для активного перемещения зерна по лепесткам жалюзи вниз (под решето) в передней части жалюзийного решета и его прохода под решето рациональный режим наклонного воздушного потока — 6 м/с< υ_B < 7 м/с и угол наклона лепестков жалюзи $\alpha \geq 70°$.

Библиографический список

1. Алфёров, С. А. Воздушно-решётные очистки зерноуборочных комбайнов / С. А. Алфёров. — Москва: Агропромиздат, 1987. — С. 49—55.

2. Муратов, Д. К. Модернизация воздушно-решётной очистки зерноуборочного комбайна / Д. К. Муратов // Инновационные технологии и технические средства для полеводства юга России: сб. научн. трудов. — Зерноград: СКНИИМЭСХ, 2011. — С. 169—175.

Материал поступил в редакцию 10.09.2012.

References

1. Alferov, S.A. *Vozdushno-reshetnyye ochistki zernouborochnykh kombaynov.* [Air-and-screen separators of grain harvesters.] Moscow: Agropromizdat, 1987, pp. 49–55 (in Russian).

2. Muratov, D.K. *Modernizatsiya vozdushno-reshetnoy ochistki zernouborochnogo kombayna*. [Redesign of grain harvester air-and-screen separator.] *Innovatsionnyye tekhnologii i tekhnicheskiye sredstva dlya polevodstva yuga Rossii: coll. of sci. papers,* Zernograd: SKNIIMESKh, 2011, pp. 169–175 (in Russian).

RELATIVE MOVEMENT OF GRAIN COMPONENTS ACROSS FINS

D. K. Muratov
(Don State Technical University)

Values of wheat corn and chaff motion on the fin upwards and downwards from α elevation corner of the fin for various υ_B air velocities at one vibration period — $T = 2\pi/\omega$ — of the top screen are defined. The screen opening angles and air velocities at which grain will slide on the fin only downwards, and the opening angles and air velocities at which short chaff will slide on the fin only upwards, are determined. The inclined airflow parameters and fin elevation corner in the lip screen front when grain actively displaces on the fins downwards and gets under the screen are considered. Appropriate recommendations are made.

Keywords: *lip screen of harvester air-screen separator, grain, short chaff, fin.*

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

УДК 141.201.1

Рискованное действие в современном обществе: социокультурный анализ

Э. А. Панфилова
(Донской государственный технический университет)

Проводится анализ понятия «риск» как социокультурного явления. Определяются социокультурные основания риска как одной из характеристик бытия человека в мире и необходимой составляющей человеческой деятельности. Рассматриваются основные стратегии поведения современного индивида, так как сам характер риска и отношение к нему в обществе значительно различаются в зависимости от типа общества. Раскрывается понятие «рискованного действия индивида», описываются факторы, способствующие возникновению неопределённости и риска. В процессе рисковой деятельности человек сталкивается с ситуацией добровольного или вынужденного риска, разрешение которой зависит от его действия или бездействия. В связи с этим исследуется система оценки приемлемости риска и связанных с ним неблагоприятных последствий в различных сферах деятельности. Обосновывается специфика рискового действия индивида в современном обществе. Анализируются методы минимизации рисков в зависимости от стратегии поведения индивида.
Ключевые слова: *риск, рискованное действие индивида, жизненные стратегии индивида, картина мира.*

Введение. Для того чтобы понять специфику рискованного действия индивида в современном обществе, надо выделить специфические характеристики субъекта, а также провести анализ структуры действия, которая включает в себя такие составляющие, как цель, средства и результат.

В социологии субъектами риска считаются все индивидуальные и коллективные акторы социального бытия, принимающие решения и соответственно им строящие своё поведение [1].

В современном обществе субъект рискованного действия:

1) обладает необходимыми качествами, позволяющими рассчитывать на успех;

2) знает, что ситуация содержит возможность как выигрыша, так и проигрыша;

3) готов действовать, несмотря на возможную неудачу, которая несёт определённые потери.

Риск всегда предполагает преодоление сопротивления, борьбу и т. д., следствием чего является неопределённость результата. Отсутствие риска — отсутствие борьбы, согласованность действий, гармония, соблюдение меры, следование закону.

Характеристики рискованного действия. Средства, которые индивид применяет в процессе совершения рискованного действия, могут быть разнообразными. Это и методы, требующие особой психологической и физической подготовки, и специальные технические приспособления, информационное обеспечение [2]. Однако, на наш взгляд, важная особенность рискованного действия — несоответствие средств цели. Это несоответствие создаёт ситуацию неопределённости, т. е. отсутствие гарантии результата. Рискуя, субъект стремится достичь значимой цели с помощью неадекватных (выходящих за рамки нормы) средств. Отсюда — неопределённость результата, когда возможны и значимые потери, и значимые приобретения.

Собственно, история человечества — это кроме всего прочего постоянный поиск средств: изобретение приёмов, орудий, способов действия, технологий, — позволяющих гарантированно, т. е. без риска, достигать поставленных целей, создавать необходимое для жизни и просто желаемое [3]. Адекватность средств цели означает, что между ними существует причинно-следственная связь, т. е. применяемые средства с необходимостью порождают определённый ре-

зультат. Используемые в настоящее время технологии дают желаемый результат, поскольку в их основе лежит научное знание — знание устойчивых, повторяющихся причинно-следственных связей, законов, определяющих происходящие в мире процессы.

Знание существующих в мире закономерностей позволяет вывести определённые правила действий, нормы, следование которым гарантирует достижение результата [4].

В исследовании риска следует принять во внимание, что источники риска для человека — не только существующие в окружающем мире и в обществе опасности, но и он сам, такое его сущностное качество, как свобода. Свобода означает возможность выбора, в том числе выбора между следованием норме и её нарушением.

В зависимости от жизненной стратегии современного индивида меняется и степень его склонности к риску. Успех в современном обществе зависит от множества различных факторов, которые невозможно предвидеть и учесть. Однако существуют методы управления рисками и их минимизации, учитывающие различные аспекты работы с рисками, например: выбор жизненной стратегии индивида [5, с. 87] и определение степени его рисков, оценка допустимости риска и определение возможностей его снижения посредством принятия решения, изменения тех или иных факторов.

Анализ риска представляет собой структурированный процесс, цель которого — определение вероятности и масштаба неблагоприятных последствий при принятии решений. Проблема анализа, или экспертизы, риска является одной из ключевых в работах Э. Гидденса: «Обыденное знание современных сред риска ведёт к признанию ограниченности экспертного знания. Вера, которая поддерживает доверие в экспертные системы, включает процесс «разблокировки» невежества рядовых граждан, которые поначалу подчиняются требованиям экспертизы. Однако осознание этого невежества, в свою очередь, может ослабить веру в эффективность экспертизы части обывателей» [6].

Социологи выделяют различные **типы рисков в соответствии с основными сферами жизнедеятельности людей.**

Риск в сфере труда зависит от его институционализированности (обусловленности родом труда), характеризуется недобровольностью, ординарностью, предсказуемостью (за исключением технологических рисков со значительными последствиями), постоянным увеличением своего масштаба, ростом цены ошибки. Учитывая характеристики риска труда, можно сделать вывод, что данный тип риска является приемлемым, так как, несмотря на недобровольность, он ординарный и предсказуемый.

Риск в быту характеризуется индивидуализированностью, добровольностью, неинституционализированностью (традиционные бытовые риски сейчас скорее исключение, чем правило), предсказуемостью, консервативностью. Объективные условия, сопутствующие бытовым рискам, имеют тенденцию к снижению, т. е. данный тип риска можно считать приемлемым.

Риск в политике — вынужденный, некалькулируемый, с неопределённым временем проявления последствий. Ему свойственны масштабность, комплексность. Его трудно оценить, а потому и снизить, а значит, он представляется нам чрезмерным.

Риск в сфере культуры является добровольным, творческим, преимущественно индивидуально-коллективным, с серьёзными моральными последствиями, которые трудно предсказать и которые отсрочены и неопределённы по времени. Данный тип риска можно оценить как приемлемый.

Социально-культурные (мировоззренческие) стереотипы (картины мира) оказывают влияние на отношение респондентов к риску, на их восприятие риска. Содержательные различия рисков можно понять, если мы рассмотрим их в контексте существующих картин мира и ценностных систем.

Картина мира (образ мира, модель мира) — многоуровневая система представлений о реальности (от мироздания в целом до ближайшего окружения), характерных для индивида, социальной группы (профессиональной, этнической, религиозной) или целой культуры.

Картина мира включает в себя также представление о возникновении мира, о его прошлом, настоящем и будущем, о том, как он устроен, чем определяются происходящие в нём процессы. Одной из важнейших составляющих образа мира является представление о том, что такое человек и какое место он занимает в мире, от чего зависит его жизнь, в чём смысл его существования, к чему надо стремиться, а чего избегать. Картина мира направляет энергию индивида по определённым каналам, организует его жизнь и жизнь общества в целом.

Социологи выделяют **четыре основных типа картин мира**, определяющие отношение к риску. *Предпринимательская* ориентирована на достижение успеха, реализацию жизненных целей, принятие конкуренции и неравенства. *Бюрократическая* (иерархическая) признаёт важность правил, инструкций, иерархии, распределения обязанностей. *Эгалитаристская* ставит сотрудничество и равноправие выше конкуренции и свободы. *Индивидуалистическая* основывается на убеждении, что в справедливом обществе люди, обладающие большими способностями, должны достойно оцениваться [7]. На наш взгляд, можно проследить влияние перечисленных картин мира на восприятие или отношение к риску. Мы рассмотрим две полярные жизненные стратегии индивида современного общества:

1) «правильная», или бюрократическая (иерархическая), — долгий и трудный путь к жизненному успеху, получение благ в соответствии с заслугами;

2) «неправильная», или предпринимательская, — рискованная, связанная с применением экстраординарных средств, с нарушением существующих в обществе норм.

Бюрократическая (иерархическая) картина мира предполагает ничтожный риск, так как действия по установленным правилам и соблюдение норм имеют определённый, типичный результат. Нормы для того и существуют, чтобы минимизировать риск. Их соблюдение — гарантия достижения цели. Поведение в рамках нормы не является рискованным. В традиционном обществе чаще всего риски ничтожны, так как здесь человек чаще всего сталкивается с опасностями в виде непредсказуемых сил природы и собственных аффектов. Субъект в данном случае не выбирает рисковое действие в надежде получить больший «выигрыш». Как правило, риск связан с внешней опасностью или влиянием «страстей» — высокомерия, зависти, жадности, ревности и т. д. Это означает, что субъект действует не в ситуации выбора, а по традиционно установленным правилам [5, с. 90].

Предпринимательская картина мира предполагает чрезмерный риск, так как именно стремление к успеху во всех сферах деятельности заставляет индивида принимать нестандартные решения, которые помогут достичь цели кратчайшим путём. В основе риска лежит, как правило, стремление получить желаемое с помощью минимальных усилий или неадекватных средств. Рискованное действие не адекватно ситуации. Это альтернатива нормальному действию. В современном обществе риск, как правило, возникает в процессе достижения значимой цели и предполагает возможность как выигрыша, так и потери. Важнейшим условием риска является неопределённость, т. е. присутствие случайных факторов, которые способны радикально изменить ход событий. Рискованное действие опирается на вероятностное мышление, представление о мире, которое предполагает, что все процессы закономерны и случайны одновременно. В современном обществе всё более широко распространяется жизненная стратегия, направленная на достижение успеха, понимаемого как выигрыш в конкурентной борьбе. Это неизбежно порождает риски, поскольку выигрыш без риска невозможен.

Источники и методы минимизации рисков. Рискованное действие в современном обществе является, как правило, результатом принятого решения. Оно совершается с надеждой на успех,

хотя результатом может быть и неудача. Это действие включает в себя элементы неопределённости, проблемности, опасности, но риск появляется лишь в осознанном поведении человека, реагирующего на конкретную складывающуюся ситуацию.

Однако, даже в самой рискованной картине мира, которой является предпринимательская можно определить потенциальные опасности и минимизировать риски.

К источникам возникновения неопределённости и риска, относятся:

— ограниченность, недостаточность материальных, финансовых, трудовых и др. ресурсов при принятии и реализации решений;

— невозможность однозначного познания объекта при уровне и методах научного познания, сложившихся в данных условиях;

— относительная ограниченность сознательной деятельности человека;

— существующие различия в социально-психологических установках, идеалах, намерениях, оценках, стереотипах поведения.

Изменяя, заменяя или ликвидируя один или несколько источников, можно снизить риск современного предпринимателя и повысить число благоприятных результатов [8].

В обществе всегда существовали и существуют альтернативные способы действия, среди которых выделяются «правильные», одобряемые и «неправильные», порицаемые. Одобряемый способ действия закрепляется в виде нормы. Поэтому любая цель может быть достигнута различными способами — «нормальным» и «ненормальным», т. е. выходящим за рамки нормы, рискованным.

Риск может быть связан с освоением нового, непознанного, с отказом от устоявшихся норм: принятых способов лечения, обучения, производства, ведения бизнеса и т. д. В этом смысле риск — необходимое условие развития, роста. В противоположность ему есть риск, связанный с выходом за рамки юридических и нравственных норм, норм безопасности.

Прогресс в знаниях, технике и технологиях позволяет гарантировать получение результата с минимальным риском, однако для современного индивида, эталоном которого является предприниматель, предпочтительным оказывается самый эффективный, т. е. быстрый и низкозатратный, а значит, связанный с риском [9]. Поэтому предприниматель всегда находится в поиске более эффективных способов достижения цели. Этот поиск, как известно, не всегда приводит к общественной пользе, но это уже проблема общества, его способности регулировать деятельность предпринимателей.

Риск — стремление добиться цели, несмотря на угрозы и опасности. Риск возникает в ситуации дефицита знания и других видов ресурсов, необходимых для достижения цели.

В современном обществе человек сам выбирает, как поступить — «нормально», не рискуя, но при этом затрачивая усилия, или «ненормально», рискованно. Простой пример: управляя автомобилем, водитель не пользуется ремнём безопасности. Пристёгивание ремня действительно создаёт определённые неудобства, требует некоторых усилий и затрат времени. Но в случае серьёзной аварии экономия на этих затратах может привести к несоизмеримо большим потерям. Поэтому в современном обществе мы наблюдаем две противоположные интенции: постоянное преодоление индивидом существующих в обществе норм и ограничений и одновременно неуклонный рост числа различных правил, нормативных документов, законов и служб, обеспечивающих их выполнение.

Ситуация риска — специфическая ситуация. Это всегда борьба, поединок с обстоятельствами или неравным соперником, в которой есть шанс одержать победу. Шанс — возможность вмешательства неких сил, которые помогают слабому победить сильного, или возможность проявления неких скрытых факторов, которые позволяют достичь успеха. В борьбе с трудностями или соперником должно нечто проявиться, стать явным, т. е. такая борьба всегда содержит по-

знавательный аспект. Индивид стремится не только что-то приобрести, но и что-то познать: свои способности, качества противника, свойства среды или процесса (в науке), волю высших сил. Фактически это аналог эксперимента, когда индивид подвергается испытанию и испытывает реальность. Испытание — переход возможности в действительность. Это своеобразное творчество, сотворение или изменение реальности усилиями человека. Любое творчество есть преодоление, поэтому содержит в себе риск. Риск связан с тем, что результат творчества непредсказуем. Существует масса примеров того, как известнейшие впоследствии художественные произведения были отвергнуты редакторами или публикой.

Заключение. Истоки риска — в самом характере человеческой деятельности, в её целенаправленности. Цель — идеальный образ, реальность, какой она должна быть. Действуя определённым образом, субъект может достичь или не достичь цели. В этом риск. Если действие совершается не ради конкретной утилитарной цели, а ради самого риска, если нет стремления получить реальную выгоду или пользу, то речь идёт о «риске в чистом виде». В качестве примеров можно привести походы к Северному полюсу, занятия альпинизмом, экстремальными видами спорта и т. д.

В процессе утверждения нового велика роль случайности, поскольку новое создаёт неравновесное состояние, возникает точка бифуркации, в которой на ситуацию может повлиять любая мелочь. Но дело не в случайном факторе, а в самой ситуации неравновесия. Важно, что она создаётся усилиями того, кто не реагирует на происходящее пассивным приспособлением, но стремится изменить ход событий, направить его в определённую сторону. Риск в том, что для изменения ситуации может не хватить ресурсов, но в любом случае принятое решение и приложенные усилия меняют реальность, пусть даже внутреннюю. Рискованное действие меняет самого человека, он познаёт себя, узнаёт, на что он способен.

Библиографический список

1. Веретнов, В. Философия риска: от рискофобии, рискофилии к рискософии [Электронный ресурс] / В. Веретнов. — Режим доступа: http://www.klubok.net/article2333.html (дата обращения: 07.06.2012).

2. Диев, В. С. Философская парадигма риска // Журнал ЭКО. — 2008. — № 11. — С. 27—39.

3. RiskMetrics — Technical Document [Электронный ресурс] / J. P. Morgan, Reuters. — Режим доступа: http://www.jpmorgan.com/RiskManagement/RiskMetrics/RiskMetrics.html (дата обращения: 25.02.2011).

4. Управление риском. Риск. Устойчивое развитие. Синергетика. — Москва: Наука, 2000. — 431 с.

5. Ренн, О. Три десятилетия исследования риска / О. Ренн // Вопросы анализа риска. — 1999. — Т. 1, № 1. — С. 80–99.

6. Гидденс, Э. Судьба, риск и безопасность / Э. Гидденс // THESIS. — 1994. — № 5. — С. 102.

7. Черкасов, В. В. Проблемы риска в управленческой деятельности / В. В. Черкасов. — Москва: Рефл-бук; Калининград: Ваклер, 1999. — 288 с.

8. Луман, Н. Понятие риска / Н. Луман // THESIS. — 1994. — № 5. — С. 141.

9. Бек, У. От индустриального общества к обществу риска / У. Бек // THESIS. — 1994. — № 5. — С. 45.

Материал поступил в редакцию 30.07.2012.

References

1. Veretnov, V. *Filosofiya riska: ot riskofobii, riskofilii k riskosofii*. [Risk philosophy: from risk-phobia, risk-philia to risk-sophia.] Available at: http://www.klubok.net/article2333.html (accessed: 07.06.2012).

2. Diyev, V.S. *Filosofskaya paradigma riska*. [Risk philosophic paradigm.] *Zhurnal EKO,* 2008, no. 11, pp. 27–39 (in Russian).

3. Morgan, J.P. Reuters. RiskMetrics – Technical Document. Available at: http://www.jpmorgan.com/RiskManagement/RiskMetrics/RiskMetrics.html (accessed: 25.02.2011).

4. *Upravleniye riskom. Risk. Ustoychivoye razvitiye. Sinergetika.* [Risk management. Risk. Sustainable development. Synergetics.] Moscow: Nauka, 2000, 431 p. (in Russian).

5. Renn, O. *Tri desyatiletiya issledovaniya riska*. [Three decades of risk study.] *Voprosy analiza riska,* 1999, vol. 1, no. 1, pp. 80–99 (in Russian).

6. Giddens, E. *Sudba, risk i bezopasnost*. [Fate, risk and safety.] *THESIS*, 1994, no. 5, 102 p. (in Russian).

7. Cherkasov, V.V. *Problemy riska v upravlencheskoy deyatelnosti.* [Risk problems in management behavior.] Moscow: Refl-buk; Kiev: Vakler, 1999, 288 p. (in Russian).

8. Luman, N. *Ponyatiye riska*. [Risk concept.] *THESIS*, 1994, no. 5, 141 p. (in Russian).

9. Beck, U. *Ot industrialnogo obshchestva k obshchestvu riska.* [From industrial society to risk society.] *THESIS*, 1994, no. 5, p. 45 (in Russian).

RISKY ACTION IN MODERN SOCIETY: SOCIOCULTURAL ANALYSIS

E. A. Panfilova
(Don State Technical University)

The analysis of the "risk" concept as a sociocultural phenomenon is carried out. The sociocultural basis for risk as one of the human being's characteristics in the world and an essential component of the human activity is defined. The basic strategies of the contemporary individual behavior are considered since the nature of risk itself and the attitude towards it in the society differ widely versus the society type. The concept of the "individual risky action" is revealed. The factors contributing to the uncertainty and risk are described. In the process of the risky activity, the individual comes up against the situation of voluntary or necessary risk whose resolution depends on his action or inaction. In this respect, the assessment system of the risk acceptability and the adverse consequences connected with it in various scopes of activity are investigated. The specific nature of the individual risky action in the modern society is proved. Risk minimization methods versus the individual behavior strategy are analyzed.
Keywords: *risk, risky action of individual, vital strategies of individual, world view.*

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 338.46:658.6

Современная парадигма инновационной инфраструктуры производственного процесса вуза

М. А. Изотов
(Донской государственный технический университет)

Показано, что развитие университетов как инновационных структур определяет региональный инновационный сектор экономики. Повышение качества и конкурентоспособности образовательных инфраструктур требует реструктуризации учебно-производственного процесса вуза. Доказано, что создание инновационной инфраструктуры играет важнейшую роль в реализации результатов научно-технической деятельности. Определена роль инновационной инфраструктуры в развитии интегрированного образования. Процесс трансфера инноваций представлен как многоаспектное понятие, а его участники — как объекты инновационных инфраструктур предприятий. Развитие инновационной инфраструктуры университета основано на взаимодействии консалтинговых, инжиниринговых, информационных и телекоммуникационных услуг. Доказано, что наличие инновационной инфраструктуры является ключевым фактором успеха высшего учебного заведения. Исследование концептуальной модели тренда инноваций доказывает, что инфраструктура университета обладает свойством саморазвития. Участники интегрированных структур могут быть оценены с точки зрения качества результатов проекта. Смена парадигмы инновационной инфраструктуры предопределяет развитие всех институциональных форм, что приводит к формированию специализированных инновационных структур.
Ключевые слова: *инновационная инфраструктура, трансфер технологий, инфраструктурные инновационные предприятия, патентно-инновационные процессы, интеллектуальная собственность, университетский комплекс, интегрированное образование, инновационно-внедренческие фирмы, инновационные услуги, научно-технические проекты, наукоёмкие технологии, инновационный потенциал.*

Введение. В России отношения между развитием науки и внедрением технологий остаются весьма противоречивыми. В настоящее время главный вопрос, связанный с новыми технологиями, состоит не в том, «как это сделать». Основные задачи в этой области правильнее сформулировать так: «кому это нужно», «как это продать». Анализ деятельности университетских комплексов свидетельствует о том, что учёные не хотят, не могут и не должны иметь дело непосредственно с рынком. Трансфер технологий от научной лаборатории к производителям, к рынку требует разделения функций и наличия специализированных промежуточных звеньев. Роль таких промежуточных звеньев призваны играть инфраструктурные инновационные предприятия — причём в первую очередь предприятия, создаваемые при ведущих университетах.

Особенности и роль инновационной инфраструктуры в производственном процессе вуза. В развитии отечественной системы высшего образования университетские инновационные предприятия выполняют следующие функции:

- поддержка университетских научных исследований и реализация исследовательского потенциала университета;
- помощь сотрудникам в освоении навыков инновационной деятельности;
- обучение студентов навыкам инновационной деятельности — как составная часть образовательного процесса;
- вовлечение студентов в реальные патентно-инновационные и производственные процессы;
- финансовая поддержка образовательного процесса;

– налаживание прямых научно-технических контактов с производственными предприятиями;

– реализация инновационных проектов малого бизнеса.

Успех российской экономики в значительной степени может быть связан с созданием национальной системой трансфера технологий — хорошо отлаженной и регулируемой федеральными законами (рис. 1).

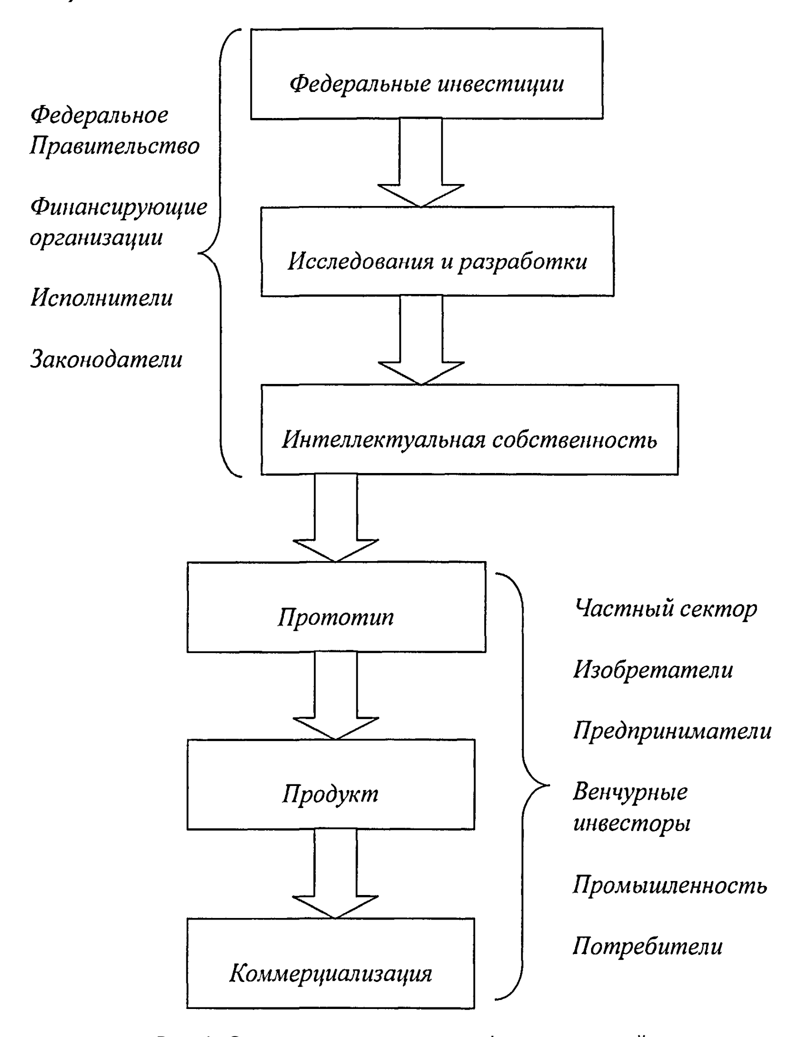


Рис. 1. Структура процесса трансфера инноваций

На начальных этапах участниками данной системы помимо непосредственных исполнителей должно стать федеральное правительство, федеральные агентства, другие финансирующие органы и, наконец, законодатели, обеспечивающие юридическую поддержку процесса. В результате их совместной деятельности возникает то, что является новым знанием, юридически оформляемым как интеллектуальная собственность. На последующих этапах к реализации инноваций подключится частный сектор в лице предпринимателей, венчурных инвесторов и крупных промышленных компаний. Их совместные усилия превращают инновацию в реальный рыночный продукт.

Важным вкладом университетов в инновационную деятельность может стать развитие на их базе системы интегрированного образования. Интегрированное образование в области инновационных технологий преследует две важнейшие цели:

1) подготовка профессиональных кадров для создания и трансфера новых технологий;

2) привлечение средств потенциальных работодателей и корпораций в систему высшего образования.

Очевидно, что в настоящее время профессиональное образование не может развиваться изолированно от тех структур, для которых оно готовит специалистов. Интегрированное образование — это механизм практической реализации обратной связи между промышленностью и образованием. Предприятия сами должны принимать активное участие, в том числе финансовое, в подготовке своих будущих кадров. Университет может дать выпускникам фундаментальное академическое образование. Но студентам нужны и практические навыки для того, чтобы они могли сразу и полноценно включиться в работу предприятия. Однако вуз не всегда располагает соответствующими высококвалифицированными специалистами — практиками в какой-либо конкретной области. Преодолеть этот разрыв можно, развивая систему интегрированного образования — за счёт средств заказчика образовательных услуг, с привлечением его производственной базы и специалистов. По сути, это возрождение на новом этапе и в новых условиях зарекомендовавшей себя отечественной системы совместной подготовки специалистов. При этом для удовлетворения потребностей заказчиков используются их финансовые, производственные и кадровые возможности. Вуз, в свою очередь, предоставляет возможность получить фундаментальное высшее образование.

На базе университетских инновационно-внедренческих фирм может быть выстроена инновационная триада, включающая в себя образовательную, научно-исследовательскую и производственно-внедренческую компоненты. При этом интересы вуза, заказчика и выпускника реализуются следующим образом.

– Университет получает гарантированный оплачиваемый заказ на подготовку специалистов, возможность развивать экспериментально-учебную базу, повышать уровень и диверсифицировать предоставляемое образование. Соответственно, растёт уровень материальной поддержки преподавательского состава, что стимулирует его профессиональный рост.

– Заказчик использует учебную базу университета для подготовки высококвалифицированных кадров. Уровень и профиль образования таких специалистов максимально отвечает запросам работодателя — с учётом перспективного развития компании. Новые сотрудники активно включаются в производственный процесс с первых дней, без адаптации и переобучения.

– Выпускникам гарантируется трудоустройство по избранной специальности с ясной перспективой карьерного роста.

В качестве главной преференции для всех трёх сторон следует отметить их участие в единой цепочке: создание — трансфер — внедрение инноваций, с профессионально выстроенными обратными связями и возможностью быстрой реакции на новые научные достижения, новые технологии, инновации в образовательном процессе.

Под инновационной активностью университета понимается комплексная характеристика интенсивности инновационной деятельности, основанная на способности к мобилизации инновационного потенциала. Формальный подход позволяет разделить все организации на две группы: инновационно-активные и инновационно-неактивные. При этом принадлежность к категории инновационно-активных определяется по факту выполнения работ, относимых к инновационной деятельности, и означает переход на интенсивный тип расширенного воспроизводства.

Центральную роль в инновационной сфере университетского комплекса играет инновационная инфраструктура. Это организационно-управленческая, материально-техническая, информационная, финансовая и кредитная основа эффективного распределения средств и оказания услуг, способствующих развитию инновационной деятельности. Состояние инновационной инфраструктуры тесно связано с уровнем технологического развития национальной и территориальной экономики и с моделью экономического роста. Для инновационной модели характерно повышение роли невещественных, инновационных и информационных факторов, а также прогресс в сфере наукоёмких услуг [1]. Поэтому развитие инновационной структуры основано на создании сети консалтинговых, инжиниринговых, информационных и телекоммуникационных услуг.

Мировая практика развития инновационных процессов в образовании определила роль различных структур в инновационной деятельности университетов. Для реализации инновационных проектов крупнейшие университетские комплексы используют традиционные модели инновационного процесса, которые опираются на научно-техническую и образовательную сферы, на организационные структуры, способствующие доведению проектов до стадии коммерциализации.

Цель инновационной деятельности в системе высшей школы — повышение эффективности функционирования университетов в условиях рыночной экономики. Для достижения этой цели необходимо совершенствовать систему управления научной, научно-технической и инновационной деятельности вузов, т. е. ориентировать эти виды деятельности на рынок и потребителя. Это предполагает усиление роли маркетинга при нестабильной ситуации на рынке, с учётом колебаний спроса. В этом случае требуется быстрая адаптация всех процессов к новым задачам, предполагающим использование наукоёмкой продукции, технологий и услуг специалистов.

В основе деятельности инновационного университета лежат следующие принципы:

✓ Развитие инновационного потенциала университета, результатом которого является рост интеллектуального потенциала специалиста, способного обеспечить позитивные изменения в области собственной профессиональной деятельности.

✓ Прогнозирование спроса и стратегическое управление структурой расширенного воспроизводства интеллектуального потенциала территории.

✓ Формирование инфраструктуры инновационной деятельности, обеспечивающей интеграцию академических образовательных ценностей и предпринимательства.

✓ Формирование инновационной корпоративной культуры и внутренней конкурентной среды.

✓ Развитие инфраструктуры взаимодействия университета с внешней средой — образовательная, научная и глобальная интеграция академической науки с промышленностью, бизнесом и властными структурами.

✓ Диверсификация источников финансирования университета и активный фандрайзинг.

✓ Создание адаптивной системы управления университетом как самообучающейся структуры.

Инфраструктурное инновационное предприятие стремится получить максимальную прибыль в процессе выполнения своей целевой установки в процессе коммерциализации инноваций. Речь идёт о том, что результаты научно-технической деятельности, соответствующие авторские права нужно «обменять» на инвестиции, инвестиционные ресурсы инновационно-активных предприятий реального сектора экономики.

Для достижения этой цели инфраструктурные инновационные предприятия, заинтересованные в эффективном трансфере инноваций, активно включаются в поиск инновационно-активных компаний с целью объединения их в рамках инновационного проекта. Согласованная деятельность предприятий — участников инфраструктурного проекта повышает его потенциальную результативность.

Поясним это положение. При формировании современной тянущей логистической системы важнейшим фактором успеха является целенаправленный отбор участников, готовых действовать согласованно, чтобы максимизировать результаты деятельности всей системы и, следовательно, результаты каждого её элемента. Такая согласованность должна основываться на принципе экономического компромисса. Элемент должен добровольно принимать компромиссное решение по использованию его собственных ресурсов с целью максимизировать результат функционирования системы в целом.

Если говорить о научно-технической сфере, то объект управления здесь — поток инноваций, которые в результате коммерциализации оказываются в области интересов инновационно-

активных предприятий и таким образом вовлекаются в хозяйственный оборот. Поэтому важнейшая практическая задача, решаемая инновационной инфраструктурой в процессе формирования состава участников инновационного проекта, — поиск инновационно-активных предприятий, имеющих инвестиционные ресурсы и готовых к восприятию предлагаемых в качестве товара инноваций.

В этих условиях у инновационных инфраструктурных предприятий появляется возможность использовать рыночные преимущества. Рынок в этом случае представляется особым информационным устройством, осуществляющим выявление, использование и координацию знаний миллионов независимых друг от друга людей.

«Экономическая проблема — это проблема наилучшего использования имеющихся у нас ресурсов... Наша задача — обеспечить наилучшее использование знаний, которыми обладают реально существующие люди» [2, с. 112]. Ф. Хайек подчёркивает, что допущение неоклассической теории о наличии у всех агентов рынка полной информации не соответствует реальным инновационным процессам.

Ф. Хайек рассматривает конкуренцию как процедуру открытия рассеянного системного знания о предпочтениях потребителей и технологических возможностях производителей и выделяет динамический аспект конкуренции — нацеленность в неизвестное будущее, продвижение к которому неотделимо от риска. При этом Ф. Хайек выявил связь способности человека к творчеству в условиях неопределённости с потенциалом институтов, оправдывающих риск, и с объёмом доступного неявного знания, делающего возможным продвижение вперёд [3, с. 26—30].

Теория «рассеянного знания» объясняет стремление субъектов инновационной деятельности к объединению в рамках инновационного проекта. Данные субъекты находят экономический компромисс в рациональном использовании ограниченных ресурсов всех участников инновационной деятельности в условиях неантагонистических противоречий. При этом их интересы могут быть разнонаправленными.

Применение изложенного подхода позволяет обосновать специфическую функциональную роль инновационной инфраструктуры в процессе достижения компромисса с целью поиска наилучшего соотношения в использовании ресурсов в условиях рыночной конкуренции.

Однако в рамках инновационных проектов для достижения такого компромисса необходимо учитывать специфику интеллектуальных товаров. В процессе трансфера результатов научно-технической деятельности они выступают как предмет обмена, предлагаемый инновационно-активному предприятию в качестве ресурса повышения его конкурентоспособности.

Используя терминологию концепции «рассеянного знания» Ф. Хайека, подчеркнём, что участники инновационного инфраструктурного проекта могут получить новое конкурентное преимущество в результате объединения двух видов знания. Первое — это конкретное фрагментарное знание, инновация, интеллектуальный товар, принадлежащий организации научно-технического комплекса. Второе — конкретное знание о возможностях повышения собственной конкурентоспособности на основе технологической инновации.

Знания объединяются в процессе трансфера инноваций. В соответствии с особенностями внедрения инноваций обязательное условие такого обмена — предварительное формирование инновационных целей инфраструктурных предприятий. Ведущая роль в этом процессе (учитывая особое значение науки в социально-экономическом развитии общества) принадлежит предприятиям, активно взаимодействующим с инновационной инфраструктурой.

Исследование концептуальной модели трансфера инноваций показало, что элементы экономической системы (участники инновационного проекта) могут быть подобраны по критерию качества результатов проекта. Это обеспечивает саморазвитие и способность к самонастройке инновационного проекта и таким образом повышает эффективность инновации. Существенную

роль выполняет стоимостная оценка интеллектуальной собственности. Она придаёт количественную определённость процессу согласования интересов при обмене интеллектуальных товаров на инвестиционные ресурсы.

Применение методологии институционального анализа в исследовании трансфера инноваций позволило уточнить функциональную роль инновационных инфраструктурных предприятий в процессе коммерциализации инноваций. Адаптационные механизмы трансфера инноваций при обмене интеллектуальных товаров на инвестиционные ресурсы позволяют снизить издержки в научно-технической сфере.

Смена парадигмы инновационной инфраструктуры научно-технической сферы в пользу ведущей роли инновационных инфраструктурных предприятий предполагает активное развитие разнообразных институциональных форм, совершенствование институциональных условий инновационной деятельности. Имеются в виду существующие и вновь создаваемые специализированные структуры: инновационные фирмы, инновационно-технологические центры, инновационно-промышленные комплексы, технопарки (научно-технологические парки), бизнес-инкубаторы, венчурные фонды и т. п.

Особое место в условиях формирующейся экономики знаний занимает высшая школа. Она выполняет системную функцию формирования квалификации носителей знания — субъектов хозяйственной деятельности — и их способностей к созданию нового, к самостоятельной творческой деятельности.

При создании инновационной инфраструктуры в ФГБОУ ВПО ДГТУ был исследован опыт проведения подобных работ в зарубежных и российских университетах, прежде всего в технических.

В российских технических вузах внутренняя структура поддержки инновационной деятельности зависит от ряда исторически проявившихся факторов.

В рамках программы Министерства образования и науки РФ «Инновационная деятельность высшей школы» последовательно реализовывались проекты создания различных инновационных структур: инновационно-технологических центров (ИТЦ), технопарков (ТП), бизнес-инкубаторов (БИ). В рамках ФЦНТП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники» создавалась сеть центров трансфера технологий, центры научно-технического и инновационно-технологического сотрудничества.

Если вуз успешно участвовал в программах, побеждал в конкурсах, то создаваемые им элементы инновационной инфраструктуры становились базовыми для формирования последующих конструкций. Так в вузах, на базе которых создавались университетские ИТЦ, основной акцент делался на доведение инновационных идей до опытного образца. При этом практически не уделялось внимание созданию малых компаний и привлечению инвестиций. Аналогичная ситуация была и в университетских технопарках, где пытались создавать технологически более сложные инновационные продукты. Вся инфраструктура вузов концентрировалась вокруг инновационно-технологических центров и технопарков и была направлена на поддержку их деятельности.

Инфраструктура, формирующаяся вокруг бизнес-инкубатора, как правило, оказывала услуги общего характера: обеспечение льготной аренды для БИ, бухгалтерское, юридическое, информационно-технологическое и иное обслуживание. Позднее, с появлением центров трансфера технологий внутри вузов начали создаваться консалтинговые структурные комплексы, ориентированные на восполнение недостающей у разработчиков информации о выводе результатов инновационной деятельности университетов на рынок. Небольшому количеству вузов при поддержке Министерства образования и науки удалось создать инфраструктурный комплекс, включающий в себя несколько типов инфраструктурных элементов. Таким образом данные вузы стали лидерами инновационных процессов в регионе.

Чаще всего основой создания инновационной инфраструктуры университетов был процесс воплощения инновационной идеи в инновационный продукт. При этом основное внимание уделялось этапу «входа» в этот процесс, т. е. появлению инновационной идеи и стадии НИОКР. Все усилия концентрировались вокруг оборудования лабораторного парка, организации научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ. И совершенно не уделялось внимание привлечению инвестиций, выводу продукции на рынок, бизнес-планированию, бизнес-моделированию и, наконец, продажам. Лишь некоторые технические вузы использовали более полные инновационные циклы при построении инновационной инфраструктуры.

Ряд вузов к началу создания инновационной инфраструктуры уже имели продукты, полностью готовые к продаже. В таких организациях как минимум один творческий коллектив прошёл весь путь получения инновационного продукта, и накопленный опыт учитывался для формирования инфраструктурных элементов. Однако таких примеров было не много.

Фактически с начала 2000 годов стало понятно, что университет не может самостоятельно создать эффективную инновационную инфраструктуру. Вузу не хватает финансирования, инновационные технологии и продукты недостаточно востребованы реальным сектором экономики. Эту проблему может решить сотрудничество с промышленными предприятиями, инновационно-активной частью регионального бизнеса. Однако было выявлено, что не во всех регионах реальный сектор экономики готов сотрудничать с вузами в инновационной сфере. В качестве примеров можно привести сырьевые регионы и регионы, в производственном комплексе которых в последние годы отмечены серьёзные деструктивные процессы. Таким образом, инициативы вузовской инновационной инфраструктуры сталкивались с невосприимчивостью регионального бизнеса.

Для обеспечения реализации региональной инновационной стратегии требуются усилия всех размещённых на данной территории структур, в том числе и вузов. В инновационно-активных регионах вузы ощущают востребованность результатов функционирования своей инновационной инфраструктуры, имеют мотивацию к её развитию. В инновационно-пассивных регионах только весьма авторитетный вуз может самостоятельно сформировать и обеспечивать свою лидирующую роль в этой области. Индифферентное отношение к усилиям вуза ведёт к появлению слабых, неэффективных инновационных инфраструктур, не приносящих пользы ни экономике региона, ни самому вузу.

Заключение. В российских технических вузах сформировалось несколько основных типов инновационной инфраструктуры.

1. Инновационная инфраструктура, глубоко интегрированная в базовый для вуза научно-образовательный процесс.

В инфраструктуре подобного типа все операции выполняются в научно-образовательных лабораториях — вплоть до создания опытного образца (если есть необходимое для этого оборудование). Как правило, опытный образец не отличается высокой технологичностью и представляет собой прототип, позволяющий проверить инновационную идею. Возможность коммерциализации в рамках такой инфраструктуры не исследуется. Вопрос о создании специального малого предприятия для вывода продукта на рынок не ставится.

2. Инновационная инфраструктура, создаваемая вузами в партнёрстве с промышленными предприятиями.

Отличительной чертой инфраструктуры такого типа является наличие научно-образовательно-производственных центров (или научно-образовательных центров и центров коллективного пользования). Здесь организуются и образовательный, и исследовательский, и инновационный процессы вуза. Участие предприятий в таких структурах обеспечивает региональный заказ (спрос) на инновационные технологии и продукцию (по меньшей мере, на часть инновационной продукции).

Как правило, потребителями инновационной продукции в этом случае являются предприятия. Вуз строит инфраструктуру вывода инноваций на рынок через малые компании только в том случае, если речь идёт о не востребованной предприятиями региона инновационной продукции. Такая инфраструктура не нуждается в больших масштабах бизнес-инкубирования. Развитие инфраструктуры происходит за счёт создания производственных мощностей.

3. Инновационная инфраструктура, предназначенная для консалтинга. Она ориентирована на оказание услуг (как правило, аутсорсинговых) собственным инновационным разработкам и разработкам сторонних организаций.

Ядро такой инновационной инфраструктуры — центр трансфера технологий. Инфраструктура подобного типа может содержать бизнес-инкубатор, но не следует ожидать большого количества малых компаний, выращенных в таком бизнес-инкубаторе.

4. Инновационная инфраструктура, состоящая из большого числа элементов, работающих во всех сферах инновационной деятельности в регионе.

Как правило, вуз с подобной инновационной инфраструктурой — региональный лидер инновационных процессов. Он определяет инновационную составляющую экономики региона. Главные проблемы подобных инфраструктур — проблемы эффективности управления и координации всех звеньев.

На такой основе построена инновационная инфраструктура ФГБОУ ВПО ДГТУ. Это позволяет повысить, во-первых, эффективность инновационно-активных предприятий-партнёров, во-вторых — качество и конкурентоспособность производственного процесса университета.

Библиографический список

1. Лаптев, В. В. Интеграция науки и образования как фактор развития общества / В. В. Лаптев, С. А. Писарева // Инновации, 2004. — № 6. — С. 8—13.

2. Хайек, Ф. Смысл конкуренции / Ф. Хайек // Индивидуализм и экономический порядок. — Москва: Изограф, 2000. — 213 с.

3. Иванова, Н. И. Национальные инновационные системы / Н. И. Иванова. — Москва: Наука, 2002. — 244 с.

Материал поступил в редакцию 03.09.2012.

References

1. Laptev, V.V., Pisareva, S.A. *Integratsiya nauki i obrazovaniya kak faktor razvitiya obshchestva.* [Science and education integration as society development factor.] *Innovatsii*, 2004, no. 6, pp. 8–13 (in Russian).

2. Hayek, F. *Smysl konkurentsii. Individualizm i ekonomicheskiy poryadok.* [Competition sense. Individualism and economic order.] Moscow: Izograf, 2000, 213 p. (in Russian).

3. Ivanova, N.I. *Natsionalnyye innovatsionnyye sistemy.* [National innovation systems.] Moscow: Nauka, 2002, 244 p. (in Russian).

MODERN PARADIGM OF UNIVERSITY OPERATING PROCESS INNOVATION INFRASTRUCTURE

M. A. Izotov
(Don State Technical University)

It is shown that the development of universities as innovation structures determines the regional innovation economy sector. Quality and competitiveness improvement of the educational infrastructures requires restructuring the university job training process. It is proved that the creation of the innovation infrastructure contributes to the implementation of the scientific and technological activities results. The innovation infrastructure role in the integrated education development is specified. The innovation transfer process is presented as a multi-dimensional concept, and its partners – as objects of the enterprise innovation infrastructures. The university innovation infrastructure development is based on the interaction of the consulting, engineering, information, and telecommunication services. It is proved that the innovative infrastructure existence is a critical success factor for the higher educational establishment. The investigation of the innovation trend conceptual model proves that the university infrastructure possesses the self-development property. Integrated structure partners can be estimated according to the project output results. The innovation infrastructure paradigm shift predetermines development of all the institutional forms resulting in the formation of the specialized innovative structures.
Keywords: *innovation infrastructure, technology transfer, infrastructure innovation enterprises, patent innovation processes, intellectual property, university complex, integrated education, innovation and inculcation companies, innovative services, development projects, high technologies, innovative capacity.*

УДК 338.242.06.75.19

Анализ особенностей организации производства современной вертолётной техники

М. В. Кольган
(Донской государственный технический университет)

Рассматривается современное состояние вертолётостроения в России, оцениваются перспективы развития отрасли. В данный период завершается процесс консолидации основных активов, создания крупнейших корпораций. Их производственные программы ориентированы на приоритетные для российского авиастроения направления. Актуальность темы обусловлена ролью, которую играет организация производства современной вертолётной техники в формировании научного и экономического потенциала страны. На современном этапе развития российской экономики для производителей вертолётной техники становятся актуальными вопросы повышения эффективности организационной структуры, расширения сферы деятельности, выхода на новые рынки. В связи с этим рассмотрены основные аспекты эффективного управления процессом производства на примере холдинга «Вертолёты России». Проанализированы следующие показатели: доля рынка (российского и мирового), занимаемая холдингом «Вертолёты России»; повышение эффективности операций; развитие новых направлений, которые станут дополнительными источниками дохода.
Ключевые слова: *авиационная промышленность, вертолётостроение, консолидация предприятий, организационные структуры, основные аспекты эффективного управления, проблемы отечественных производителей вертолётной техники.*

Введение. В оборонной промышленности России продолжаются социально-экономические преобразования, идёт процесс трансформации форм собственности, возникают новые типы предприятий и организаций. С развитием рыночных отношений складывается новый механизм функционирования национальной экономики, при котором меняются производственные отношения и повышается ответственность субъектов рынка за результаты своей деятельности.

Цель данной статьи — проанализировать особенности организации производства современной вертолётной техники. В соответствии с целью были поставлены задачи:

1. Провести анализ текущего положения и основных результатов деятельности предприятий — производителей вертолётной техники.
2. Определить проблемы отечественных производителей вертолётной техники;
3. Определить основные аспекты эффективного управления процессом производства вертолётной промышленности.

Особенности организации производства современной вертолётной техники. В связи с развитием интеграционных процессов в вертолётостроительной отрасли, созданием холдингов и других корпораций, возникает необходимость обеспечения технического, технологического, организационно-управленческого и экономического единства, непрерывности этапов управления производством и сбытом продукции.

Решить проблемы обеспечения эффективного управления деятельностью предприятий, входящих в корпорацию, достаточно сложно. Поэтому следует рассмотреть экономические, статистические и финансовые методы и механизмы, позволяющие реализовать новые подходы к управлению на производственных предприятиях оборонной промышленности России. Возникает практическая необходимость установления общих принципов управления процессами производства на объединённых предприятиях с помощью использования современных методов планирования и прогнозирования.

Таблица 1

Сравнение двух методологий: совершенствования систем и проектирования систем [1]

Исходные параметры	Совершенствование систем	Проектирование систем
Парадигма	Анализ систем и подсистем (аналитический метод, или научная парадигма)	Проектирование системы в целом (системный подход, или системная парадигма)
Объекты исследования	Субстанция. Содержание	Структура и процесс
Метод рассуждений	Дедукция и редукция	Индукция и синтез
Выход	Улучшение существующей системы	Оптимизация системы в целом
Методика	Определение причин отклонений реальной работы системы от запланированной	Определение различия между реальным и оптимальным проектом
Основной акцент	Объяснение прежних отклонений	Прогнозирование будущих результатов
Подход	Интроспективный: от системы — внутрь	Экстраспективный: от системы — наружу
Рольпланировщика	Ведомый: следует существующим тенденциям	Лидер: оказывает влияние на тенденции

Процесс организации производства, предусматривающий проектирование, построение, обеспечение функционирования и совершенствование производственных систем, включает ряд взаимосвязанных видов работ. При этом следует учитывать, что организация производства может быть направлена на создание или совершенствование существующей производственной системы [1]. В первом случае цель — создание производственной системы нового предприятия или нового подразделения на действующем предприятии. Во втором случае целью будет улучшение действующей системы, т. е. реорганизация производства — либо всего предприятия, либо одного или нескольких его подразделений. Сравнение двух методологий представлено в таблице 1.

В работе по организации производства необходимо определить организационную цель, т. е. результат, ожидаемый от проведения конкретной организационной работы [2]. Это может быть, например, повышение ритмичности и эффективности производства, улучшение качества продукции, снижение запасов товарно-материальных ценностей и т. д. После того как цели организации определены, нужно установить виды деятельности, необходимые для их достижения, т. е. составить перечень работ, которые должны быть выполнены. Затем надо определить те подразделения предприятия, которые будут участвовать в реализации организационных целей. При этом, возможно, потребуется внести изменения в действующую структуру аппарата предприятия или создать новые, в том числе временные подразделения. Следующая организационная задача — исследование состояния организации и анализ результатов. В процессе исследования должно быть получено представление обо всех характерных чертах системы, о протекающих в ней процессах и внешних связях, об эффективности её функционирования, о необходимости осуществления организационных изменений. Анализируя результаты исследования, необходимо выявить причины негативных явлений или отклонений от среднего и нормативного уровня и сформулировать предложения по организации производства. В связи с этим в процессе организации производства должно быть выдвинуто и проработано несколько возможных вариантов организационной концепции. При этом необходимо охарактеризовать изменения в существующей производственной системе (или дать характеристику вновь создаваемой), оценить предполагаемые затраты на её осуществление и экономическую эффективность внедрения.

Для наиболее эффективного управления организационными структурами предприятий, интегрированных в ОПК «Оборонпром», следует оптимизировать структуру и содержание деятельности предприятий. Система управления должна работать как единый центр ответственности на протяжении всего жизненного цикла вертолётной техники, в том числе на этапе разработки и внедрения унифицированной системы управления экономикой и финансами предприятий.

Вертолётостроение традиционно считается одной из наиболее наукоёмких, высокотехнологичных отраслей отечественной промышленности. На современном этапе прогресс в этой области связан с реализацией Стратегии развития авиационной промышленности на период до 2015

года, консолидацией потенциала отрасли на прорывных направлениях [3]. На сегодня в целом завершена консолидация основных активов. Созданы ОАО «Объединённая авиастроительная корпорация», двигателестроительный и вертолётостроительный холдинги. Производственные программы корпораций ориентированы на приоритетные рыночные ниши и согласованы со стратегическими документами потребителей продукции. До последнего времени российские производители вертолётов конкурировали между собой на внешнем рынке, что нередко приводило к демпингу. Правительство решило прекратить подобную практику, создав единый государственный вертолётостроительный холдинг, в состав которого вошли производители вертолётов, разработчики и предприятия, обеспечивающие послепродажную поддержку. Консолидация этих предприятий позволяет решить не только проблемы, связанные с конкуренцией. Вертолётостроение становится прогосударственным объединением, в котором будет работать единая система управления и развития, что поможет укрепить позиции отрасли на мировом рынке. Открытое акционерное общество «Вертолёты России» было создано, чтобы обеспечить авиационную деятельность государства, удовлетворить спрос внутреннего и внешнего рынков на вертолётную технику военного и гражданского назначения, организовать высокоприбыльный вертолётный бизнес.

ОАО «Вертолёты России» является специализированной управляющей компанией вертолётостроительной индустрии России. В 2009 году она завершила консолидацию отрасли, объединив в единую холдинговую структуру вертолётостроительные предприятия страны, которые обеспечивают реализацию полного жизненного цикла вертолётной техники всех типов и классов — от начала проектирования до списания и утилизации [4].

В состав объединения входят авиазаводы — крупнейшие в мире серийные производители винтокрылой техники. Это многопрофильные предприятия с хорошо налаженными технологическими процессами, производственными связями и давними трудовыми традициями. ОАО «Казанский вертолётный завод» серийно выпускает средние вертолёты семейства Ми-8/17, лёгкий вертолёт «Ансат» и ведёт подготовку к производству вертолёта Ми-38. Серийным производством вертолётов Ми-8/17 занимается ОАО «Улан-Удэнский авиационный завод». ОАО «Роствертол» выпускает тяжёлые вертолёты Ми-26, транспортно-боевые вертолёты Ми-24/35, ударные боевые вертолёты Ми-28Н и ведёт подготовку к производству лёгкого вертолёта Ми-2. ОАО «Кумертауское авиационное производственное предприятие» серийно строит средние вертолёты семейства Ка-27/Ка-32 и лёгкие Ка-226. ОАО «Арсеньевская авиационная компания „Прогресс“» производит ударные боевые вертолёты Ка-50/52 и лёгкие гражданские Ми-34. ОАО «Вертолётная сервисная компания» (ВСК) оказывает услуги по послепродажному сопровождению вертолётной техники, включая ремонт, комплектацию и комплексное сервисное обслуживание [4].

В составе холдинга работают также предприятия, выпускающие основные комплектующие изделия и обеспечивающие послепродажное обслуживание вертолётных агрегатов и систем: ОАО «Московский машиностроительный завод „Вперёд“» и ОАО «Ступинское машиностроительное производственное предприятие».

Отечественные вертолётостроительные предприятия выпускают вертолёты двух марок: Ми (разработка Московского вертолётного завода им. Миля) и Ка (разработка ОАО «Камов»). Бренд Ми является бесспорным лидером по количеству произведённых и проданных машин — как у нас в стране, так и за её пределами. На рис. представлены данные по количеству выпускаемых вертолётов в гражданской авиации России.

Проблемы предприятий отечественного вертолётостроения можно сгруппировать следующим образом [6, 7]:

– необходимость реструктуризации, перепрофилирования и санации из-за непрерывно происходящих внешних изменений;

– интеграционные процессы в управлении, ориентированные на более эффективное использование всех ресурсов (научно-технических, инвестиционных и финансовых), предполагающие многообразие форм горизонтального объединения предприятий промышленности;

– перестройка на современной информационной и технологической основе производственно-хозяйственной деятельности и управления предприятием, или реинжиниринг;

– управление персоналом в результате изменения характера отношений между реальными собственниками предприятий и управляющими промышленных предприятий.

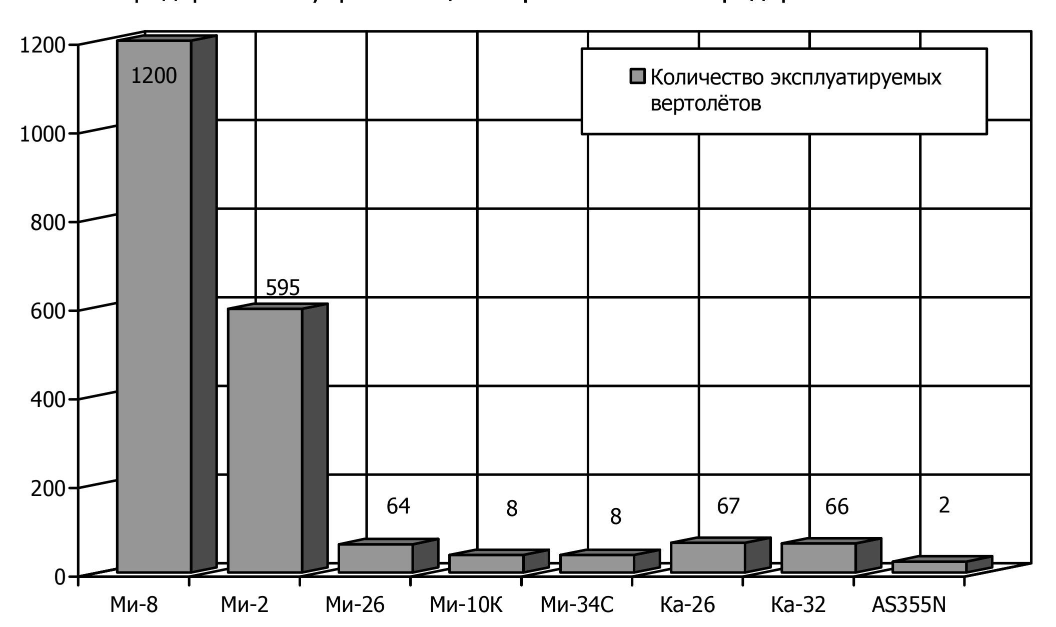


Рис. Вертолёты, эксплуатируемые в гражданской авиации России [5]

На современном этапе развития российской экономики для производителей вертолётной техники становятся актуальными вопросы повышения эффективности организационной структуры, расширения сферы деятельности, выхода на новые рынки. В связи с этим ОАО «Вертолёты России» ставит стратегические задачи (табл. 2). Для большинства предприятий, входящих в холдинг, главные проблемы — это организация управления, низкий уровень производительности и дисциплины труда.

Корпорация с помощью управляющей компании ОАО «Вертолёты России» наметила программу реорганизации производства на своих предприятиях. Это должно способствовать интеграции деятельности, обеспечивать согласованное решение нескольких управленческих задач, каждая из которых находится в содержательном и ресурсном конфликте с другими и требует создания системы управления.

Выводы.

1. Для консолидации усилий по развитию вертолётостроительной отрасли в 2006 г. была создана специализированная управляющая компания нового промышленного объединения — открытое акционерное общество «Вертолёты России». Его цель — сформировать конкурентоспособную, высокоэффективную, саморазвивающуюся и рентабельную вертолётостроительную отрасль авиационной промышленности Российской Федерации и завоевать ведущие позиции на мировом вертолётном рынке. Главные задачи объединения: удовлетворение государственных потребностей, спроса на внутреннем и внешнем рынках путём производства, сбыта, модернизации, послепродажного обслуживания и интегрированной логистической поддержки вертолётной техники военного и гражданского назначения.

Таблица 2

Основные аспекты эффективного управления процессом производства в рамках холдинга «Вертолёты России»

Цель	Задачи	Достижения
Расширение доли холдинга «Вертолёты России» на российском и мировом рынках	Получение выгоды от быстрорастущего российского рынка за счёт значительных заказов Минобороны и растущего спроса в гражданском сегменте. Расширение присутствия на растущих международных рынках. Увеличение к 2020 году продаж до 400—450 вертолётов в год (т. е. рост примерно на 100 %).	Холдинг активно взаимодействует с Министерством обороны РФ в рамках рособоронзаказа (в следующие 10 лет министерство планирует закупить более 1000 вертолётов). Холдинг постоянно и успешно участвует в международных тендерах (Ми-171А1 победил в тендере бразильской компании Petrobras).
Стабильное развитие	Дальнейшее развитие научно-исследовательского и конструкторского потенциала «Вертолётов России» с целью создания новых моделей на основе существующих и диверсификации модельного ряда за счёт разработки новых усовершенствованных сверхскоростных, сверхтяжёлых и лёгких вертолётов, а также беспилотников.	На базе всемирно известных конструкторских бюро Миля и Камова создан единый научно-исследовательский и опытно-конструкторский центр. К серийному производству готовятся средний многоцелевой вертолёт Ми-38, средний многоцелевой Ка-62, лёгкий Ми-34С1 и лёгкий многофункциональный Ка-226Т. Ведётся разработка модернизированных моделей Ми-171А2 и Ми-26Т2. Организуется сборочное производство гражданского вертолёта AW139 в России совместно с Agusta Westland.
Повышение эффективности операций	Формирование эффективной производственной платформы. Реализация программы модернизации предприятий, включающей обновление оборудования, улучшение информационного обеспечения, систем управления производством и инженерно-технических комплексов.	Внедряется технология бережливого производства (пилотные проекты на «МВЗ им. М.Л. Миля», «Казанском вертолётном заводе» и предприятии «Редуктор-ПМ»). Действует единая система управления проектами в рамках холдинга.
Развитие новых направлений, которые станут дополнительными источниками дохода	Создание глобальной системы послепродажного обслуживания и логистики, включающей: пилотные сервисные центры на ключевых рынках (в т. ч. в Индии, Китае, Латинской Америке); сертификацию и модернизацию партнёрских центров; подписание с сертифицированными партнёрскими сервисными центрами соглашений об увеличении объёма прямых поставок комплектующих с предприятий	Открыт сервисный центр по обслуживанию гражданских вертолётов российского производства в Индии. В процессе создания — центры для обслуживания вертолётов российского производства в Китае, в ОАЭ, а также сервисно-технические центры по обслуживанию вертолётов Ми-171А1 и средних многоцелевых вертолётов Ка-32А11ВС в Бразилии.

2. На современном этапе развития российской экономики для производителей вертолётной техники становится актуальным вопрос повышения эффективности организационной структуры, расширения сферы деятельности, выхода на новые рынки. Одним из шагов структурной перестройки предприятий может стать образование холдинга, которое предполагает наделение головной организации контрольными пакетами акций других компаний, что открывает возможности контроля и управления ими. Для этого необходимы:

– разработка стратегии развития;

– управление программами и проектами, направленными на развитие;

– реорганизация производства по современным «бережливым» схемам в условиях кризиса и социальных неурядиц;

– организация НИР и ОКР для обеспечения «прорывных проектов» и восстановление работ по созданию НТЗ;

– поиск, отбор и подготовка кадров для расстановки по ключевым направлениям деятельности.

3. Основные аспекты эффективного управления процессом производства вертолётной промышленности:

– повышение управляемости организации за счёт улучшения системы отчётности, создания прозрачной системы управления, ускорения процедур принятия управленческих решений;

– снижение влияния человеческого фактора при управлении организацией и выполнении отдельных операций внутри организационных процессов;

– снижение затрат.

Библиографический список

1. Логинов, В. К эффективности структурной перестройки промышленности / В. Логинов // Экономист. — 2012. — № 6. — С. 16—21.

2. Гамалей, Н. Ю. Управление организации изменениями на предприятии / Н. Ю. Гамалей // Вестник Ростов. гос. эконом. ун-та. — 2011. — № 2. — С. 65—74.

3. Исследование практики корпоративного управления в России: сравнительный анализ по итогам 2004—2009 гг. / Российский институт директоров; Российская экономическая школа // Российский журнал менеджмента. — 2011. — № 9 (1). — С. 57—126.

4. Новости корпорации [Электронный ресурс] / Объединённая промышленная корпорация «Оборонпром». — Режим доступа: www.oboronprom.ru (дата обращения: 18.08.2012).

5. Сайт холдинга «Вертолёты России» [Электронный ресурс] / ОАО «Вертолёты России». — Режим доступа: http://www.russianhelicopters.aero (дата обращения: 06.09.2012).

6. Соломкин, А. М. Организационная перестройка на предприятии / А. М. Соломкин. — Москва: Экономика, 1991. — 175 с.

7. Башмачникова, Е. Методологические подходы к управлению: особенности и сферы применения / Е. Башмачникова, Т. Марченко // Проблемы теории и практики управления. — Июнь 2011. — Режим доступа: http://uptp.ru/content/Disp_Art.php?Num=2360 (дата обращения: 01.09.2012).

Материал поступил в редакцию 04.09.2012.

References

1. Loginov, V.K. *K effektivnosti strukturnoy perestroyki promyshlennosti*. [On efficient restructuring of industry.] *Ekonomist,* 2012, no. 6, pp. 16–21 (in Russian).

2. Gamaley, N.Y. *Upravleniye organizatsii izmeneniyami na predpriyatii.* [Organization administration of enterprise changes.] *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta,* 2011, no. 2, pp. 65–74 (in Russian).

3. Russian Institute of Directors; New Economic School. *Issledovaniye praktiki korporativnogo upravleniya v Rossii: sravnitelnyy analiz po itogam 2004–2009 gg.* [Research on corporate management practice in Russia: comparative analysis at year-end 2004–2009.] *Rossiyskiy zhurnal menedzhmenta*, 2011, no. 9(1), pp. 57–126 (in Russian).

4. United industrial corporation "Oboronprom". *Novosti korporatsii.* [Corporation news.] Available at: www.oboronprom.ru (accessed: 18.08.2012).

5. Russian Helicopters, JSC. *Sayt kholdinga «Vertolety Rossii»*. [Russian Helicopters group site.] Available at: http://www.russianhelicopters.aero (accessed: 06.09.2012).

6. Solomkin, A.M. *Organizatsionnaya perestroyka na predpriyatii.* [Management reorganization at the enterprise.] Moscow: Ekonomika, 1991, 175 p. (in Russian).

7. Bashmachnikova, E., Marchenko, T. *Metodologicheskiye podkhody k upravleniyu: osobennosti i sfery primeneniya.* [Methodological approaches to management: specifics and application areas.] *Theoretical and Practical Issues of Management,* June 2011. Available at: http://uptp.ru/content/Disp_Art.php?Num=2360 (accessed: 01.09.2012) (in Russian).

ORGANIZATION FEATURES ANALYSIS OF MODERN HELICOPTER EQUIPMENT PRODUCTION

M. V. Kolgan
(Don State Technical University)

The current status of the helicopter engineering in Russia is considered, the development prospects of the industry are evaluated. In the given period, the capital assets consolidation, and big business creation are being completed. Their manufacturing programs are aimed at the priority directions of the Russian aircraft industry. The significance of the chosen theme is caused by the role which the helicopter industry plays in forming scientific and economic potential of the country. At the present stage of the Russian economy development, problems on the organizational arrangement, divercification, entry into new markets become more urgent for helicopter equipment producers. In this regard, the focal points of the efficient manufacturing process control are considered by the example of the "Russian Helicopters" company. The following figures are analyzed: the Russian and world market shares of the "Russian Helicopters" company, operations efficiency improvement, development of new trends which will become additional sources of revenue.
Keywords: *aviation industry, helicopter engineering, consolidation of enterprises, organizational arrangement, focal points of efficient control, problems of domestic helicopter equipment producers.*

УДК 338.242.4:339.9(470+571)

Институциональные особенности государственного регулирования внешнеторговой деятельности в России

Е. Н. Страхова
(Ростовский филиал Российской таможенной академии)

Рассмотрены вопросы соотношения организационной и институциональной составляющей государственного регулирования внешнеторговой деятельности в России. Собраны и проанализированы фактические данные о функционировании федеральных органов исполнительной власти в период с 1992 по 2011 гг. С учётом этих показателей выделены основные элементы механизма формирования зависимости от траектории предшествующего развития в сфере внешнеторговой деятельности. Ключевым понятием данного механизма является цикличность организационно-институционального развития. С точки зрения организационной составляющей, рассматриваемые в работе циклы — это временные диапазоны — от максимального до минимального количества проведённых организационных изменений. С точки зрения институциональной составляющей, данные циклы — это временные промежутки, в течение которых во внешнеторговой политике наблюдается приоритет определённых направлений государственного регулирования и мер государственной поддержки внешнеторговой деятельности. Выявленная цикличность обусловлена высокой степенью накопления в институциональной системе внешнеторговой деятельности факторов организационно-институциональных диспропорций, в качестве которых рассмотрены временные несоответствия в области правового обеспечения образования, упразднения и функционирования органов исполнительной власти, ответственных за регулирование и поддержку внешнеторговой деятельности.
Ключевые слова: *внешнеторговая деятельность, государственное регулирование, циклы организационно-институционального развития.*

Введение. Методология институционализма вызывает особый интерес в связи с исследованием таких проблем, как: отсутствие комплексного, эффективно функционирующего государственного механизма поддержки экспорта в России; недостаточность организационных и правовых возможностей для развития внешнеторговой деятельности (ВТД) основной массой хозяйствующих субъектов.

Цель статьи — определить институциональные особенности механизма государственного регулирования ВТД в России и на этой основе выявить причины его устойчиво низкой эффективности. Достижение цели предполагает решение следующих задач: представление предшествующего исследовательского опыта по вопросам диагностирования причин современного состояния институциональной структуры ВТД; проведение сравнительного анализа динамики общего количества полномочий федеральных органов исполнительной власти, ответственных за поддержку и регулирование ВТД, и общего количества организационных изменений за период 1992—2011 гг.; установление причинно-следственных зависимостей между выявленными институциональными особенностями государственного регулирования ВТД в России.

Основные результаты предшествующих исследований в области организационно-институционального обеспечения ВТД [1, 2]. С позиций институциональной экономической теории устойчивость низкой эффективности системы государственного регулирования ВТД может быть объяснена зависимостью от предшествующего пути (траектории) развития (*path dependence*). Данный феномен позволяет объяснить причины настоящего состояния госрегулирования ВТД, используя анализ последовательных решений или событий, непосредственно или косвенно влияющих на её формирование [3].

Для выявления феномена *path dependence* в системе государственного регулирования ВТД необходимо исследовать институциональные аспекты смены соответствующих федеральных органов исполнительной власти с 1992 по 2011 годы. В данном исследовании *органы исполнительной*

власти рассматриваются как субъекты институциональной структуры ВТД, созданные для достижения конкретных целей государственного регулирования. *Полномочия* данных органов власти могут быть определены как качественный элемент институциональной структуры, объединяющий институты ВТД и механизмы контроля и принуждения к исполнению установленных норм.

Под *организационным изменением* в настоящем исследовании понимается передача одного органа власти в ведение иного органа власти, либо преобразование в иной орган власти, либо его упразднение. Под *институциональным изменением* понимается изменение полномочий органа исполнительной власти в связи с его передачей в ведение иного органа власти либо преобразование в иной орган власти. Графическая интерпретация организационных и институциональных изменений в области ВТД представлена на рис. 1. В его основе — информация о времени действия соответствующих нормативно-правовых документов. В частности, рассмотрены указы Президента РФ о структуре (и системе) федеральных органов исполнительной власти, а также постановления Правительства РФ, утверждающие положения об исследуемых органах власти.

Проведённое обобщение позволило определить факторы организационно-институциональных диспропорций в развитии институциональной структуры ВТД за весь рассматриваемый период. К данным факторам отнесены организационный разрыв, институциональный разрыв, а также организационно-институциональное несоответствие.

Под *организационным разрывом* здесь понимается фактическое отсутствие федеральных органов исполнительной власти, ответственных за определённую область государственного регулирования. *Институциональный разрыв* — это отсутствие необходимых полномочий у федерального органа исполнительной власти при легитимности его присутствия в организационной структуре. *Организационно-институциональное несоответствие* определяется как несовпадение времени присутствия органа исполнительной власти в организационной структуре со временем выполнения им соответствующих полномочий.

Длительность существования (в календарных месяцах) объектов исследования измерялась во взаимосвязи с соответствующими показателями организационного разрыва, институционального разрыва и организационно-институционального несоответствия.

Чтобы определить погодовые значения показателей, они разделены на первичные и вторичные. Если наблюдаемое явление — это следствие изменений, проведённых в исследуемом году, то речь идёт о первичных значениях показателей. Если изменения произошли в период, предшествующий исследуемому году, то мы будем говорить о вторичных значениях. Выделение вторичных значений показателей, определяющих масштабы накопления в институциональной структуре сдерживающих развитие факторов, позволило провести корреляционный анализ. Его цель — установить влияние данных факторов на динамику проведения организационных изменений в области ВТД. При расчёте коэффициента корреляции использовались два массива данных.

1. Количество организационных изменений, всего в году.
2. Вторичные значения показателей факторов организационно-институциональных диспропорций.

Коэффициент корреляции Пирсона составил 0,75, что может являться подтверждением наличия феномена *path dependence* в системе государственного регулирования ВТД, что позволяет говорить о значении следующих институциональных особенностей государственного регулирования ВТД.

Особенность 1. *Организационно-институциональные несоответствия отмечаются на протяжении всего периода формирования и развития институциональной структуры ВТД.*

Наличие организационно-институциональных несоответствий влечёт за собой негативные последствия. Во-первых, это увеличение издержек экономической системы на обеспечение без-

действующих органов власти, присутствующих в институциональной структуре. Во-вторых — создание условий для образования антиинститутов, прежде всего коррупции.

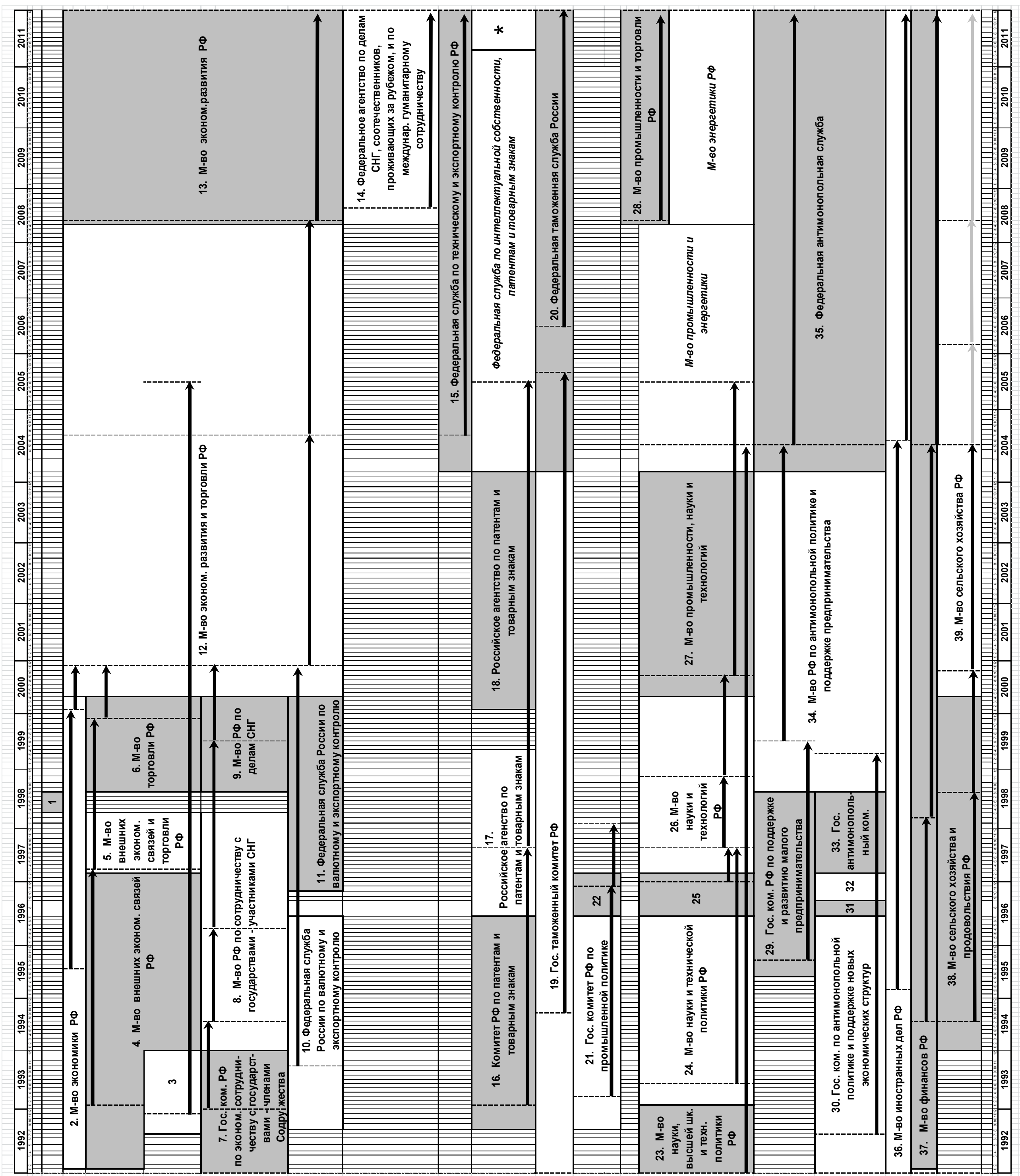
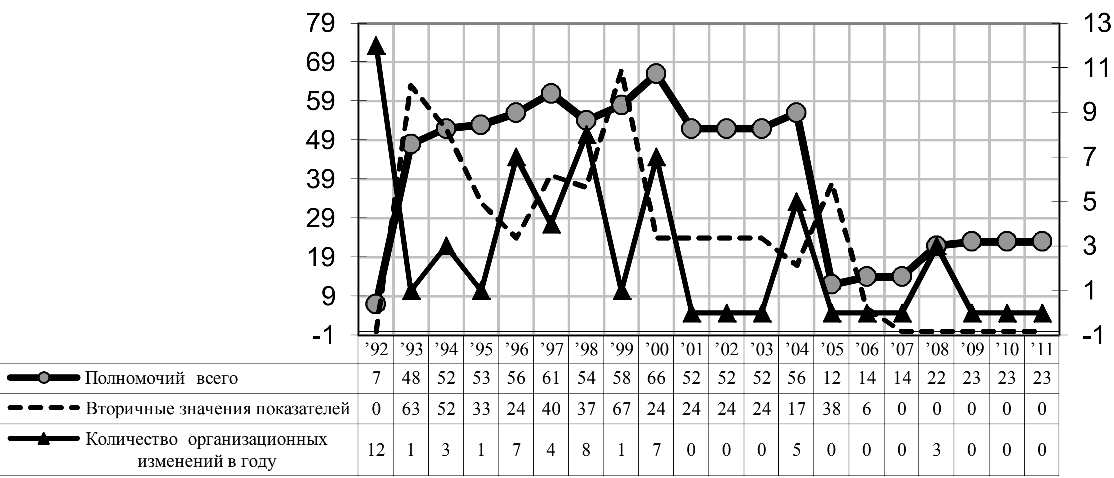


Рис. 1. Графическая интерпретация организационных и институциональных изменений в области ВТД. Цифрами и символами обозначены следующие федеральные органы государственной власти: 1 — Министерство промышленности и торговли; 3 — Российское агентство международного сотрудничества и развития; 22 — Министерство промышленности РФ; 25 — Государственный комитет РФ по науке и технологиям; 31 — Государственный комитет РФ по антимонопольной политике; 32 — Государственный комитет по антимонопольной политике и поддержке новых экономических структур; * — Федеральная служба по интеллектуальной собственности. Стрелки, проходящие от одной пунктирной линии до другой, обозначают время действия нормативно-правовых документов, устанавливающих полномочия соответствующих органов власти. Курсивом выделены органы власти, которые в настоящее время уже не имеют полномочий по регулированию ВТД

Особенность 2. *Отдельные организационные изменения проводятся при различных значениях показателей организационно-институционального несоответствия, что определяет степень комплементарности правовых норм на каждом временном отрезке институционального развития.*

Различное время вступления в силу полномочий действующих органов исполнительной власти — причина правовых пробелов, снижающих институциональные возможности выхода на внешний рынок хозяйствующих субъектов.

Анализ динамики общего количества полномочий органов исполнительной власти, ответственных за поддержку и регулирование ВТД, с общим количеством организационных изменений за период 1992—2011 гг. Исследовались полномочия органов исполнительной власти, принадлежащих к институциональной системе ВТД, по таким направлениям регулирования, как: развитие внешнеторговых связей хозяйствующих субъектов; стимулирование экспорта; информационное, правовое и кадровое обеспечение внешнеторговой деятельности; защита российских участников ВТД за рубежом; контроль и регулирование экспортно-импортных операций хозяйствующих субъектов, защита внутреннего рынка; формирование и осуществление внешнеторговой политики; международное взаимодействие. Общее количество исследованных полномочий — 98. Динамика общего количества полномочий, общего количества организационных изменений в году, а также вторичных значений показателей организационно-институциональных диспропорций представлены на рис. 2.



	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11
Полномочий всего	7	48	52	53	56	61	54	58	66	52	52	52	56	12	14	14	22	23	23	23
Вторичные значения показателей	0	63	52	33	24	40	37	67	24	24	24	24	17	38	6	0	0	0	0	0
Количество организационных изменений в году	12	1	3	1	7	4	8	1	7	0	0	0	5	0	0	0	3	0	0	0

Рис. 2. Погодовая динамика институциональных (по основной шкале) и организационных (по дополнительной шкале) изменений в сфере внешнеторговой деятельности. Вторичные значения показателей факторов организационно-институциональных диспропорций (по основной шкале)

Анализ фактических данных, собранных в процессе исследования институциональной структуры ВТД в период с 1992 по 2011 гг., позволяет выделить следующие особенности институционального развития.

Особенность 3. *Цикличность организационно-институционального развития.*

Можно выделить шесть циклов организационно-институционального развития (табл. 1): I (1992—1995 гг.), II (1996—1997 гг.), III (1998—1999 гг.), IV (2000—2003 гг.), V (2004—2007 гг.), VI (2008 г. — настоящий момент).

На фоне общей слабости институциональной системы ВТД выявлены две положительные тенденции. Во-первых, несмотря на низкую квоту проведения организационных изменений, в определённые периоды осуществлялись реорганизации (в том числе в области взаимоотношений со странами СНГ в 1994, 1999 гг.). Во-вторых, институты взаимодействия со странами СНГ на протяжении всего рассматриваемого периода отличались относительной гибкостью и своевременностью реакции на принимаемые решения.

Таблица 1

Циклы организационно-институциональных изменений

Цикл	Характеристика организационных изменений	Характеристика институциональных изменений
1992—1995 гг.	Основные институты и механизмы контроля интенсивно формируются в течение первых этапов либерализации (1991—1992 гг.) при необходимости развития внешнеторговых связей государства. Образование и функционирование хозяйствующих субъектов имело противоречивый характер. В результате в 1992 году показатели факторов организационно-институциональных диспропорций достигли высоких значений, в том числе по ключевым органам исполнительной власти, ответственным за регулирование ВТД. Это определило динамику проведения дальнейших организационных изменений. Количество реорганизаций в 1993—1995 гг. было минимальным в силу высоких значений вторичных факторов, сдерживающих институциональное развитие.	Из-за низкого качества проведения организационных изменений в 1992 году отмечено минимальное количество полномочий в сфере ВТД, в частности по нетарифному регулированию, по формированию госполитики в отношении свободных экономических зон, по международному научно-техническому сотрудничеству. Институты и механизмы контроля, организационная основа которых была сформирована в 1992 году, активированы в 1993 году, за исключением полномочий по правовому, информационному и кадровому обеспечению ВТД. С 1992 по 1995 гг. наблюдается высокий уровень комплементарности институтов развития ВТД со странами СНГ. Проводилась работа по следующим направлениям: оказание помощи хозяйствующим субъектам государств СНГ в сохранении и развитии горизонтальных хозяйственных связей; изучение конъюнктуры и прогнозирование тенденций развития товарного рынка СНГ; разработка предложений экономического и научно-технического сотрудничества; разработка и реализация мероприятий по унификации законодательств государств СНГ; заключение международных договоров с государствами СНГ и обеспечение их выполнения; осуществление взаимодействия с международными экономическими и финансовыми организациями по вопросам деятельности СНГ и др. В целом первый цикл организационных изменений характеризуется приоритетом норм международного сотрудничества в области ВТД.
1996—1997 гг.	В 1996 г. число организационных изменений растёт. Это обусловлено падением вторичных значений показателей (с 63 в 1993 г. до 24 в 1996 г.). Проведено семь реорганизаций в следующих областях: валютный и экспортный контроль, защита прав интеллектуальной собственности, антимонопольная, промышленная и научно-техническая политика. Однако эти изменения проводились с высокими показателями факторов организационно-институциональных диспропорций.	В 1996 году образовано Министерство науки и технологий, в 1997 году —Министерство внешних экономических связей и торговли. В связи с реализацией их полномочий в 1997 году происходит смещение институциональных приоритетов во внешнеторговой политике государства. Во-первых, полномочия по развитию внешнеторговых связей хозяйствующих субъектов сменяются полномочиями по кадровому, правовому и информационному обеспечению ВТД. Во-вторых, усиливаются институты стимулирования и поддержки экспорта промышленной продукции, а также развития экспортного потенциала оборонной промышленности. В-третьих, ограничиваются полномочия по нетарифному регулированию. В-четвёртых, продолжается упразднение полномочий по научно-техническому сотрудничеству с иностранными государствами (за исключением членов СНГ).
1998—1999 гг.	Максимальные (за весь рассматриваемый период) значения показателей факторов организационно-институциональных диспропорций отмечены в 1998 г. (первичные) и в 1999 г. (вторичные). Шесть из восьми организационных изменений были связаны с образованием и последующей ликвидацией организационных и институциональных разрывов в деятельности органов власти, ответственных за формирование и реализацию внешнеторговой политики страны. В «институциональной ловушке» [4] в 1998 г. оказались: Министерство промышленности и торговли, Министерство внешних экономических связей и торговли РФ, Министерство торговли РФ, Министерство РФ по сотрудничеству с государствами — участниками СНГ, Министерство РФ по делам СНГ.	В кризисный 1998 год проведение организационных изменений осуществляется с высокими значениями показателей организационно-институционального несоответствия, поэтому необходимые институциональные изменения произошли лишь во II половине 1999 г. Увеличение общего числа функций в 1999 г. обусловлено новым этапом развития отношений со странами СНГ, в частности заключением Договора о Таможенном союзе и Едином экономическом пространстве от 26 февраля 1999 года. В связи с этим образование в 1998 г. Министерства по делам СНГ сопровождалось, во-первых, передачей 90 % полномочий упразднённого Министерства РФ по сотрудничеству с государствами — участниками СНГ, во-вторых, созданием институтов и механизмов контроля, соответствующих новому этапу интеграции. Так, с 1999 года действуют институты, обладающие полномочиями по государственной поддержке экспорта в страны СНГ; по образованию финансово-промышленных групп с участием членов СНГ; по защите прав и интересов российский участников ВТД на рынках СНГ. После двухлетнего отсутствия (1996—1997 гг.) возобновляется институт координации международных и внешнеэкономических связей субъектов РФ со странами СНГ. Вводятся нормы по формированию и обновлению состава российских частей межправительственных комиссий по торгово-экономическому, научно-техническому и военно-техническому сотрудничеству между РФ и членами СНГ.

Окончание таблицы 1

2000—2003 гг.	В 2000 г. вторичные значения показателей сдерживающих факторов сокращаются до 24 месяцев (с 67 в 1999 г.). Это позволило институциональной системе провести семь организационных изменений, обозначивших новый этап реформы госслужбы. Ключевые органы власти в сфере ВТД (Министерство экономики, Министерство торговли РФ, Министерство РФ по делам СНГ и Федеральная служба России по валютному и экспортному контролю) реорганизованы в Министерство экономического развития и торговли РФ с передачей соответствующих полномочий. В течение последующих трёх лет (2001—2003 гг.) наблюдается отсутствие организационно-институциональной активности.	В 2000 г. образованы Министерство экономического развития и торговли РФ и Министерство промышленности, науки и технологий. В результате происходит очередное смещение институциональных приоритетов в сфере ВТД. Во-первых, активируются полномочия по развитию и стимулированию экспорта продукции отечественных производителей. Упраздняются институты кадрового и правового обеспечения ВТД. Во-вторых, получают новый импульс активности механизмы сотрудничества с иностранными государствами, в частности институт взаимодействия с посольствами и деловыми кругами иностранных государств в РФ по вопросам торгово-экономических отношений. Вновь начинает действовать институт заключения международных договоров в области науки и техники. С 2000 г. Министерство экономического развития и торговли РФ координирует деятельность органов исполнительной власти субъектов РФ, направленную на развитие сотрудничества с членами СНГ в торгово-экономической, научно-технической, производственной сферах. В течение следующих трёх лет (2001—2003 гг.) обновлённый (т. е. сокращённый) набор институтов и механизмов контроля в сфере ВТД не демонстрирует динамики.
2004—2007 гг.	В 2004 г. проведено пять организационных изменений с устоявшимися институциональными ошибками — высокими значениями показателей факторов, сдерживающих институциональное развитие. В течение последующих трёх лет (2005—2007) наблюдается отсутствие организационных изменений в сфере ВТД.	Изменения, проведённые в 2004 году, повлекли общее сокращение институтов в сфере ВТД до минимального числа за весь рассматриваемый период. Утрачены институты развития внешнеэкономических связей хозяйствующих субъектов, развития и стимулирования экспорта, в том числе промышленной и наукоёмкой продукции. Происходит дальнейшее (с 2000 года) уменьшение мер помощи участникам ВТД. С 2004 года приоритет принадлежит институтам регулирования и контроля. Такими полномочиями обладают Федеральная служба по техническому и экспортному контролю РФ, Министерство экономического развития и торговли РФ, Федеральная антимонопольная службы России. В 2006 году произошло увеличение числа институтов за счёт восстановления утраченных ранее полномочий. На Федеральную таможенную службу России были возложены восстановленные функции: обеспечение соблюдения запретов и ограничений в отношении товаров, перемещаемых через таможенную границу РФ; разработка предложений по изменению и дополнению ТНВЭД.
2008—2011 гг.	В 2008 г. проведено три изменения с минимальными значениями показателей организационно-институционального несоответствия. Данное обстоятельство определило отсутствие в последующий период вторичных значений показателей факторов, сдерживающих институциональное развитие.	Характер институциональных изменений определяется институциональными успехами организационных изменений, проведённых в I половине 2008 г. Общее число полномочий было увеличено на девять единиц, восемь из которых ранее присутствовали в институциональной структуре внешнеторговых отношений России со странами СНГ и утратили силу в 2000 и 2004 годы. Новый набор институтов функционировал без существенных изменений в течение 2008—2011 гг.

Особенность 4. *«Линейность» количества функций. Уменьшение или увеличение числа функций субъектов институциональной структуры внешнеторговой деятельности происходит, как правило, посредством организационных изменений, а не в процессе функционирования определённого органа исполнительной власти.*

Данная особенность свидетельствует о том, что институциональная система не способна своевременно адаптироваться к изменяющимся условиям внешней среды. В результате снижается комплементарность правовых норм и механизмов контроля. Кроме того, неоправданно увеличиваются издержки экономической системы: во-первых — на обеспечение выполнения нецелесообразных полномочий, во-вторых — на проведение реорганизаций неэффективных органов исполнительной власти.

Особенность 5. *При проведении большинства организационных изменений более 50 % полномочий переходят от одного органа исполнительной власти к другому. Наблюдается возобновление ранее утраченных институтов.*

Особенность 6*. На различных временных отрезках некоторые организации становятся лидерами по числу выполняемых полномочий в регулировании ВТД. При этом в целом для ситуации характерны: 1) разброс полномочий среди органов исполнительной власти; 2) дублирование полномочий органов исполнительной власти.*

Вторичные факторы организационно-институциональных диспропорций значительно сужают альтернативы развития институциональной структуры, искажают информационные сигналы, что мешает рациональному выбору. Например, в такой ситуации сложно установить оптимальное число органов исполнительной власти, ответственных за регулирование ВТД. В результате один из органов власти лидирует по числу выполняемых полномочий в данной сфере.

Механизм формирования зависимости от траектории предшествующего развития в сфере ВТД. Наблюдается причинно-следственная зависимость представленных особенностей от траектории предшествующего развития. Суть этой зависимости в следующем.

1. Высокие показатели организационно-институциональных несоответствий на протяжении рассматриваемого периода формирования и развития институциональной структуры ВТД *(особенность 1)* формируют вторичные значения факторов, сдерживающих институциональное развитие.

2. Накопление в институциональной структуре факторов, сдерживающих институциональное развитие, определяет наличие циклов организационного развития. Это подтверждает коэффициент корреляции Пирсона. Последующий анализ полномочий органов власти показал, что каждый цикл организационных изменений сопровождается усилением мер господдержки ВТД. Таким образом, речь идёт о единых циклах организационно-институционального развития, рассмотренных выше *(особенность 2)*.

3. Временные лаги вступления в силу полномочий многочисленных органов исполнительной власти, выполняющих функции в области ВТД, не позволяют установить общую комплементарность институтов в необходимый срок *(особенность 3)*.

4. Таким образом, «линейность» количества полномочий объясняется тем, что институциональной структуре необходимо определённое время для установления согласованности норм, постепенно вступающих в силу *(особенность 4)*.

5. С началом каждого нового цикла организационно-институциональных изменений установленная комплементарность институтов подвергается риску разрушения: в среднем 50 % полномочий переходят от одного субъекта институциональной структуры к другому. Кроме того, при проведении реорганизаций органов власти возобновляются утраченные ранее институты *(особенность 5)*.

6. Один из органов власти лидирует по числу выполняемых полномочий. Этому способствуют дестабилизирующие факторы, являющиеся функцией от вторичных факторов организационно-институциональных диспропорций: 1) разброс полномочий по регулированию ВТД среди различных органов исполнительной власти; 2) дублирование полномочий органов исполнительной власти *(особенность 6).*

Заключение. Выявлено, что в сфере ВТД цикличность организационно-институционального развития, обусловленная высокими значениями вторичных факторов, является ключевым элементом механизма формирования зависимости от траектории предшествующего развития. Институциональные изменения проводятся скачкообразно. В таких условиях особенностями институциональной структуры, направленными на её сохранение и относительно стабильное функционирование, являются «линейность» количества институтов, передача более 50 % полномочий от одного органа исполнительной власти к другому, а также возобновление ранее утраченных полномочий.

Библиографический список

1. Страхова, Е. Н. К вопросу о предметной области институциональной экономической теории / Е. Н. Страхова // Академический вестник Ростовского филиала Российской таможенной академии. — 2012. — № 1. — С. 91—98.

2. Страхова, Е. Н. Организационно-институциональные диспропорции государственного регулирования внешнеторговой деятельности: вопросы идентификации / Е. Н. Страхова // Теория и практика коммерческого посредничества в сфере обращения: сборник материалов региональной научно-практической конференции / Ростовский государственный экономический университет (РИНХ). — Ростов-на-Дону, 2011. — С. 250—255.

3. Вольчик, В. В. Проблема отбора: рынки и институты в экономической теории / В. В. Вольчик // Экономический вестник Ростовского государственного университета. — 2005. — Т. 3, № 4. — С. 47—54.

4. Полтерович, В. М. Институциональные ловушки и экономические реформы / В. М. Полтерович // Экономика и математические методы. — 1999. — Т. 35, № 2. — С. 3—40.

Материал поступил в редакцию 16.05.2012.

References

1. Strakhova, E.N. *K voprosu o predmetnoy oblasti institutsionalnoy ekonomicheskoy teorii*. [On domain area of institutional economics.] *Akademicheskiy vestnik Rostovskogo filiala Rossiyskoy tamozhennoy akademii,* 2012, no. 1, pp. 91–98 (in Russian).

2. Strakhova, E.N. *Organizatsionno-institutsionalnyye disproportsii gosudarstvennogo regulirovaniya vneshnetorgovoy deyatelnosti: voprosy identifikatsii.* [Organization and institutional imbalances of foreign trade activity state regulation: identification problems.] *Teoriya i praktika kommercheskogo posrednichestva v sfere obrashcheniya: sbornik materialov regionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Rostov-on-Don: Rostov State University of Economics, 2011, pp. 250–255 (in Russian).

3. Volchik, V.V. *Problema otbora: rynki i instituty v ekonomicheskoy teorii.* [Selection problem: markets and institutions in economics.] *Ekonomicheskiy vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta,* 2005, vol. 3, no. 4, pp. 47–54 (in Russian).

4. Polterovich, V.M. *Institutsionalnyye lovushki i ekonomicheskiye reformy.* [Institutional traps and economic reforms.] *Ekonomika i matematicheskiye metody,* 1999, vol. 35, no. 2, pp. 3–40 (in Russian).

STATE REGULATION INSTITUTIONAL FEATURES OF FOREIGN TRADE ACTIVITY IN RUSSIA

E. N. Strakhova
(Russian Customs Academy, Rostov Branch)

The correlation issues of the state regulation organizational and institutional component of the foreign trade activity in Russia are considered. The factual data on the federal executive bodies operation during the period from 1992 to 2011 is gathered and analyzed. With consideration of these indices, the basic elements of the mechanism of forming path dependence in the foreign trade activity are selected. The key element of this mechanism is the cyclicality of the organizational and institutional development. In terms of the organizational component, the cycles under discussion are time ranges — from maximum to minimum amount of the performed organizational changes. In terms of the institutional component, these cycles are time spans when the priority of the certain trends of the state regulation and measures of state support for the foreign trade activity is observed. The perceived cyclicality is determined by the great accumulation of the factors of the organizational and institutional imbalances in the institutional system of the foreign trade activity. These imbalances are regarded as temporary discordance in the sphere of the legal support for education, abolition and functioning of the executive authorities responsible for the regulation and support for the foreign trade activity.
Keywords: *foreign trade activity, state regulation, cycles of organizational and institutional development.*

УДК 373.5(47)

Региональный центр здоровьесбережения в сфере образования

Е. Н. Пожарская
(Донской государственный технический университет)

Разработка «новых технологий, механизмов и регламентов отслеживания и поддержки здоровья школьников» определена в качестве одного из приоритетных направлений развития отечественного образования в национальной образовательной стратегии «Наша новая школа». Пилотный проект Министерства общего и профессионального образования Ростовской области направлен на создание глобального здоровьесберегающего образовательного пространства в Ростовском регионе. Центральным элементом пилотного проекта является функционирование Регионального центра здоровьесбережения в сфере образования Ростовской области. Это первый в РФ здоровьесберегающий центр в системе образования регионального уровня, выступающий координационным центром здоровьесберегающих школ Ростовской области и направленный на решение комплекса задач — организационных, мониторинговых, методических, экспертных, информационных. Создание Регионального центра здоровьесбережения в сфере образования выводит Ростовскую область в лидеры в сфере здоровьесберегающей педагогики.
Ключевые слова: *здоровьесберегающая образовательная система, интегральная система мониторинга здоровьесберегающей деятельности образовательного учреждения, региональный центр здоровьесбережения в сфере образования.*

Введение. Здоровье общества — исключительно важный фактор его процветания и развития, без которого невозможны безопасность, экономическое благополучие и широкие возможности самореализации и личностного совершенствования членов социума. Тенденции изменения уровня здоровья подрастающего поколения за последние 10—15 лет весьма неблагоприятны: количество здоровых детей в образовательных учреждениях по различным данным сегодня составляет до 20 % от общего количества обучающихся [1, 2]. Именно поэтому вопросы сохранения и укрепления здоровья детей становятся особенно актуальными в образовательной области и включены в число основных целей проходящей сейчас в России реформы системы образования. В последнее десятилетие обеспечение благополучного и защищённого детства стало одним из основных национальных приоритетов России. Проблемы детства и пути их решения нашли своё отражение в Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года, Концепции демографической политики Российской Федерации на период до 2025 года. Инструментом практического решения многих вопросов в сфере детства стала реализация приоритетных национальных проектов «Здоровье» и «Образование», федеральных целевых программ развития образования и здравоохранения.

«Школы здоровья» — основная форма организации здоровьесберегающего образовательного учреждения. Направления реорганизации образовательной системы появляющихся в РФ «Школ здоровья» соответствуют общей стратегии модернизации российского образования. Реализация инновационных образовательных здоровьесберегающих проектов таких школ направлена на укрепление социального здоровья молодёжи, реконструкцию школы в направлении создания оптимальных условий для воспитания здоровых, образованных и социально адаптированных членов общества.

Проекты «Школ здоровья», выделяя здоровьесберегающий подход к обучению в качестве базовой образовательной стратегии, предполагают такую организацию образовательного процесса, которая соответствовала бы индивидуальным особенностям возрастного, психофизиологического и социального развития учащихся. Концептуальное содержание здоровьесберегающих проектов предполагает реализацию следующего тезиса — современная школа должна стать «антро-

поцентричной», т. е. центром всех учебно-воспитательных воздействий в такой школе является конкретный ученик, и, соответственно, все способы и формы организации школьной жизни подчинены целям его всестороннего личностного развития.

К сожалению, распространение передового опыта здоровьесберегающих школ в РФ происходит крайне медленно. По данным НИИ гигиены и охраны здоровья детей и подростков Научного центра здоровья детей РАМН (разработчиков плана создания Российской сети школ, содействующих укреплению здоровья — РС ШСУЗ), в настоящее время в Российской Федерации насчитывается 3708 школ, содействующих укреплению здоровья. Если учесть, что в одном только региональном субъекте — Ростовской области — в настоящий момент зарегистрировано 1111 общеобразовательных учреждений (по данным на 01.09.2012 г.), становится понятным незначительность охвата технологиями здоровьесберегающего образования образовательных учреждений России. Данные об эффективности работы этих школ в разных регионах России не обобщены, отсутствует сравнительный анализ их деятельности, что затрудняет возможности распространения их безусловно положительного опыта на всё образовательное пространство страны.

В работе «Школ здоровья» в настоящее время назрели проблемы, требующие безотлагательного решения. «Школы здоровья» ещё не стали в РФ заметным фактором в укреплении здоровья обучающегося поколения россиян. По данным НИИ гигиены и охраны здоровья детей и подростков Научного центра здоровья детей РАМН, в регионах и на федеральном уровне не налажен чёткий учёт и взаимодействие всех здоровьесберегающих школ, что затрудняет объединение их во Всероссийскую сеть школ здоровья [3]. По данным того же источника, недостаточно обобщается и распространяется передовой опыт имеющихся здоровьесберегающих школ. Ярко выражен недостаток научно-методической базы (учебных пособий, монографий, руководств, научно-практических изданий и т. п.) по вопросам здоровьесберегающей педагогики, что тормозит развитие здоровьесберегающего образования в России. Таким образом, идея создания Всероссийской сети «Школ здоровья», предложенная НИИ гигиены и охраны здоровья детей и подростков Научного центра здоровья детей РАМН, столкнулась с пассивностью региональных образовательных систем, оказавшихся на деле не готовыми к распространению идей здоровьесберегающей педагогики во Всероссийском масштабе. Причина данной ситуации может состоять в отсутствии координационных структур, поддерживающих и объединяющих здоровьесберегающие школы на местах (в регионах), обеспечивающих их объединение в региональные сети здоровьесберегающих образовательных учреждений, проводящих научно-методическое обеспечение таких школ и осуществляющих мониторинг здоровьесберегающей деятельности ОУ на региональном уровне. Назрела необходимость создания региональных структур, подчинённых региональным министерствам образования, функциональными обязанностями которых стало бы создание Региональных сетей здоровьесберегающих школ, научно-методическое и технологическое их сопровождение. Ростовская область является лидером в данном направлении, первой из субъектов Российской Федерации разработавшей и реализовавшей инновационный образовательный проект создания Регионального центра здоровьесбережения в сфере образования (приказ Министерства общего и профессионального образования Ростовской области № 328 от 18.04.2012 «О создании Регионального центра здоровьесбережения в сфере образования Ростовской области»).

Инновационный образовательный проект «Региональный центр здоровьесбережения в сфере образования» Ростовской области. Инновационный пилотный проект, реализуемый в образовательном пространстве Ростовской области в рамках соглашения о сотрудничестве Минобразования и Минздрава региона, направлен на комплексное решение проблемы сохранения и укрепления здоровья обучающихся на основе внедрения передовых здоровьесберегающих программ, методик и технологий в деятельность 100 пилотных образовательных учреждений региона [4]. Сложность и комплексность исследований, необходимых для разработки инновационных про-

дуктов в области здоровьесберегающей педагогики, определили необходимость создания Регионального Центра здоровьесбережения в сфере образования Ростовской области (далее РЦ ЗСО РО), созданного как структурное подразделение ГБОУ РО «Областной центр психолого-педагогической реабилитации и коррекции».

Региональный центр здоровьесбережения в сфере образования Ростовской области (РЦ ЗСО РО) выступает координационным центром здоровьесберегающих школ Ростовской области. Целями создания Регионального Центра здоровьесбережения в сфере образования Ростовской области (РЦ ЗСО РО) являются:

— обеспечение научно-методической и организационно-педагогической поддержки региональной системе образования в сфере «Образование и здоровье»;

— содействие педагогическим коллективам образовательных учреждений области в создании условий, гарантирующих охрану и укрепление физического, психического и социального здоровья обучающихся, воспитанников, в формировании культуры здоровья подрастающего поколения;

— научно-методическое сопровождение экспериментов по проблемам педагогики здоровья.

Функции Регионального центра здоровьесбережения в сфере образования Ростовской области могут быть представлены в виде нижеперечисленных задач.

I. Организационные задачи.

1. Создание региональной сети школ здоровья, представляющей собой мобильную структуру, обеспечивающую систему развития здоровьесберегающей деятельности ОУ и обмен опытом данной деятельности ОУ.

2. Стандартизация работы здоровьесберегающих школ РО — т. е. разработка типовой модели здоровьесберегающих ОУ и общих принципов функционирования здоровьесберегающих ОУ. В настоящее время в РФ общей типовой модели здоровьесберегающей деятельности ОУ не существует, что затрудняет возможности сравнительного анализа эффективности работы здоровьесберегающих школ разных регионов России, обобщения опыта их деятельности. Ростовская область является первым субъектом РФ, в масштабах региона апробирующим общую модель функционирования здоровьесберегающих школ.

Введение общей модели функционирования здоровьесберегающих ОУ сделало возможным разработку аппарата квалиметрической оценки эффективности здоровьесберегающей работы образовательных учреждений нашего региона, используемого в программе мониторинга здоровьесберегающей деятельности школ РО.

II. Мониторинговые задачи.

1. Создание банка статистических данных показателей здоровья обучающихся ОУ разных районов РО (по различным функциональным системам) на основе прохождения обучающимися диагностических процедур средствами аппаратно-программных комплексов контроля физиологических параметров.

2. Мониторинг психологических показателей обучающихся средствами внедрения в образовательном пространстве региона блока компьютерных программ «Компьютерные методы психодиагностики в системе здоровьеохранного образования» [5]. Отдельной проблемой образовательной системы Ростовской области, как и любого региона РФ, является существующая технология предоставления психологической помощи детям и подросткам. Суть проблемы состоит в недостаточной обеспеченности ОУ профессиональными штатными психологами. Выходом из создавшейся ситуации является введение в ОУ высокотехнологичных современных компьютеризированных программ психологической диагностики, отнимающих мало времени и позволяющих обеспечить диагностические психологические процедуры для всех обучающихся (по аналогии с мониторингом показателей здоровья всех детей школьного возраста средствами аппаратно-программных

комплексов). При реализации такого подхода 100 % школьников смогут получить своевременную психологическую консультацию по выявленным проблемам.

3. Мониторинговые мероприятия здоровьесберегающей деятельности школ РО, направленные на формирование формирование базы данных о состоянии здоровьеохранной деятельности в образовательных учреждениях Ростовской области [6]. Мониторинг здоровьесберегающей деятельности образовательных учреждений обеспечивает решение двух основных задач:

а) прохождение системы мониторинга обеспечивает знакомство администрации ОУ с основными требованиями к организации здоровьесберегающей работы — таким образом сама процедура мониторинга выполняет обучающую функцию;

б) отслеживая успехи и недостатки реализации определённых секторов здоровьесберегающей деятельности ОУ, Региональный Центр здоровьесбережения в сфере образования Ростовской области будет обеспечивать адресную помощь ОУ в развитии направлений здоровьесберегающей работы.

Основной идеей мониторинга здоровьесберегающей деятельности ОУ является выявление факторов школьной среды, пагубно влияющих на показатели здоровья обучающихся и возможность корректировки данных условий. Под условиями образовательной среды понимается не только материально-техническое состояние здания школы, но и весь комплекс экологических, психологических и социальных воздействий, оказываемых на ученика в стенах ОУ. Таким образом, **педагогической целью проекта является возможность воздействия на условия образовательной среды, обеспечивая улучшение показателей здоровья обучающихся.**

Система мониторинга здоровьесберегающей деятельности ОУ может быть представлена в виде компьютерной программы, позволяющей собрать статистические материалы о здоровьесберегающей работе образовательных учреждений, выявить слабые позиции и предложить механизмы коррекции ситуации. Данная компьютерная программа предлагается к использованию как в режиме электронного общения со школами, так и в ходе непосредственного интервьюирования деятельности школ. В настоящее время в РФ отсутствует компьютерная система мониторинга здоровьесберегающей деятельности ОУ, что позволяет Ростовской области при внедрении данной системы войти в число лидеров по данному направлению развития системы здоровьеохранного образования.

III. Методические задачи.

1. Деятельность по повышению уровня профессиональной компетентности руководящих и педагогических работников учреждений образования в сфере педагогики здоровья. Разработка методики и программы обучения педагогических работников школ РО в сфере организации здоровьесберегающей деятельности образовательных учреждений является важной задачей развития здоровьеохранной системы образования. Данная задача может быть решена Региональным Центром здоровьесбережения в сфере образования Ростовской области в сотрудничестве с Ростовским областным институтом повышения квалификации и профессиональной переподготовки работников образования. Программа обучения должна включать знакомство со всеми положениями здоровьесберегающей образовательной модели, носить комплексный характер и обеспечивать возможность тиражирования опыта здоровьесберегающей деятельности ОУ.

Программа повышения квалификации педагогических работников школ РО в области здоровьесберегающей педагогики представляет собой блок курсов дополнительной профессиональной программы повышения квалификации, объединённых в единый модуль «Здоровьесберегающая педагогика». В зависимости от задач программы повышения квалификации, из общей структуры программы «Здоровьесберегающая педагогика» могут быть сформированы учебные модули и блоки, соответствующие запросу заказчиков.

2. Отдельной задачей является разработка методических и информационных материалов по проблемам здоровьесберегающей педагогики. Данная деятельность направлена на обеспечение комплексной методической поддержки руководителей, педагогов, психологов образовательных учреждений по проблемам педагогики здоровья. В рамках издательской серии «Здоровьесберегающая педагогика» в течение 2006—2010 годов подготовлено и опубликовано 7 научно-практических изданий для педагогов, опубликовано первое в РФ учебное пособие для вузов «Здоровьесберегающая педагогика» [7].

3. Разработка цикла электронных обучающих презентаций для организации системы повышения квалификации педагогических работников в рамках курсовых мероприятий «Здоровьесберегающая педагогика» представляется оптимальным механизмом обучения для педагогических коллективов удалённых школ, позволяющим проводить систему обучения в дистанционном режиме.

IV. Экспертные задачи.

1. Участие в разработке нормативных документов, программ, проектов в сфере педагогики здоровьесбережения.

2. Сопровождение и экспертиза региональных программ здоровьеохранной направленности и формирования здорового образа жизни.

3. Инициация разработки здоровьесберегающих проектов школ, организация экспертизы здоровьесберегающей деятельности образовательных учреждений области.

4. Отбор и экспертная оценка инновационных здоровьесберегающих проектов ОУ для представления их на методологических семинарах и научно-практических конференциях по проблемам здоровьеохранного образования, подготовка к участию в них педагогических коллективов образовательных учреждений региона.

V. Информационные задачи. Информационные функции РЦ ЗСО РО будут обеспечиваться посредством информационного портала для обучающихся, педагогов и родителей. Структурная реализация информационного портала охватывает ряд направлений:

1. Информация о региональном пилотном проекте.

2. Информация о РЦ ЗСО РО, его структурных подразделениях и функциях, контактных телефонах специалистов, сроках семинаров повышения квалификации для педагогов и консультативных приёмах для родителей.

3. Разъяснения о диагностических возможностях и процедурах обследования на АПК «АРМИС» и компьютерных программах психологического тестирования, представленные в виде инструкций, фильмов образовательного содержания и отзывов обучающихся и их родителей.

4. Кабинет обучающегося, содержащий уроки здоровья, советы обучающимся по организации приёмов здорового образа жизни, рекомендации по организации индивидуальных образовательных траекторий, профориентационные материалы.

5. Методический кабинет для педагогов, содержащий мастер-классы для методистов и учителей школ по организации учебной и воспитательной работы по формированию приоритетов здорового образа жизни на основе методических программ Ростовского областного института повышения квалификации и профессиональной переподготовки работников образования и РЦ ЗСО РО.

6. Методический кабинет для родителей, содержащий информацию по организации социального контакта и воспитания детей, тесты для родителей по определению типа родительского отношения, диагностики кризисных жизненных ситуаций и советы психологов по преодолению семейных конфликтов и пр.

Обобщением функций РЦ ЗСО РО является задача по обеспечению образовательных учреждений РО полным пакетом методических и программных продуктов, позволяющих реализовать на базе типовой школы здоровьесберегающее образовательное учреждение.

Заключение. Инновационный образовательный проект «Региональный центр здоровьесбережения в сфере образования Ростовской области» имеет широкие перспективы для образовательной системы города и области. Речь идёт не о создании единичных инновационных здоровьесберегающих школ нового типа — перспективным и актуальным в настоящий момент является создание сети образовательных учреждений, избравших в качестве базисной идеи своего развития концепцию здоровьесберегающего образования. Использование комплекса высокотехнологичных программных и методических продуктов, разработанных для системы здоровьесберегающего образования, позволит внедрить в образовательном пространстве Ростовской области модель здоровьесберегающей деятельности образовательного учреждения, применимую к общеобразовательным школам любой специализации, профиля и режима обучения.

Основным практическим результатом реализации инновационного образовательного проекта станет модернизация образовательной системы школ, вошедших в Региональную сеть здоровьесберегающих ОУ. Тиражирование созданной РЦ ЗСО РО здоровьесберегающей образовательной модели должно привести к модернизации образовательных учреждений всей региональной образовательной системы, обеспечивая повышение качества образования, укрепление социального здоровья молодёжи, создание оптимальных условий для воспитания здоровых, образованных и социально адаптированных членов общества.

Библиографический список

1. Баранов, А. А. Состояние здоровья современных детей и подростков и роль медико-социальных факторов в его формировании / А. А. Баранов, В. Р. Кучма, Л. М. Сухарёва // Вестник Российской академии медицинских наук. — 2009. — № 5. — С. 6—11.

2. Безруких, М. М. Здоровьесберегающая школа / М. М. Безруких. — Москва: Московский психолого-социальный институт, 2004. — 240 с.

3. Кучма, В. Р. Школы здоровья в России (концепция, планирование и развитие) / В. Р. Кучма. — Москва: Научный центр здоровья детей РАМН, 2009. — 128 с.

4. Пожарская, Е. Н. Инновационный образовательный проект «Региональный центр здоровьесбережения в сфере образования Ростовской области»: научно-практическое пособие / Е. Н. Пожарская. — Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ин-та повышения квалификации и проф. переподготовки работников образования, 2012. — 100 с.

5. Пожарская, Е. Н. Компьютерные методы психодиагностики в системе здоровьеохранного образования: научно-практическое руководство для пользователей компьютерных программ психологической диагностики / Е. Н. Пожарская. — Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ин-та повышения квалификации и проф. переподготовки работников образования, 2011. — 282 с.

6. Пожарская, Е. Н. Интегральная система мониторинга здоровьесберегающей деятельности в сфере образования / Е. Н. Пожарская. — Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 2012. — 282 с.

7. Пожарская, Е. Н. Здоровьесберегающая педагогика: учебное пособие для вузов / Е. Н. Пожарская. — Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 2012. — 479 с.

Материал поступил в редакцию 31.08.2012.

References

1. Baranov, A.A., Kuchma, V.R., Sukhareva, L.M. *Sostoyaniye zdorovya sovremennykh detey i podrostkov i rol mediko-sotsialnykh faktorov v yego formirovanii.* [Health status of children and teenagers nowadays and medicosocial factors role in its building.] *Vestnik Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk,* 2009, no. 5, pp. 6–11 (in Russian).

2. Bezrukikh, M.M. *Zdorovyesberegayushchaya shkola.* [Health-saving school.] Moscow: Moscow Psychological and Social Institute, 2004, 240 p. (in Russian).

3. Kuchma, V.R. *Shkoly zdorovya v Rossii (kontseptsiya, planirovaniye i razvitiye).* [Health promoting schools in Russia (conception, planning, and development).] Moscow: Scientific Centre of Child Healthcare, RAMS, 2009, 128 p. (in Russian).

4. Pozharskaya, E.N. *Innovatsionnyy obrazovatelnyy proyekt «Regionalnyy tsentr zdorovyesberezheniya v sfere obrazovaniya Rostovskoy oblasti»: nauchno-prakticheskoye posobiye.* [Innovative education project "Regional health-saving centre in education sphere of the Rostov region": research and practice textbook.] Rostov-on-Don: Izdatelstvo Rostovskogo instituta povysheniya kvalifikatsii i professionalnoy perepodgotovki rabotnikov obrazovaniya, 2012, 100 p. (in Russian).

5. Pozharskaya, E.N. *Kompyuternyye metody psikhodiagnostiki v sisteme zdorovyeokhrannogo obrazovaniya: nauchno-prakticheskoye rukovodstvo dlya polzovateley kompyuternykh programm psikhologicheskoydiagnostiki.* [Computer aided psychognosis techniques in health-saving education system: research and practice guidelines for computer psychological diagnostics program users.] Rostov-on-Don: Izdatelstvo Rostovskogo instituta povysheniya kvalifikatsii i professionalnoy perepodgotovki rabotnikov obrazovaniya, 2011, 282 p. (in Russian).

6. Pozharskaya, E.N. *Integralnaya sistema monitoringa zdorovyesberegayushchey deyatelnosti v sfere obrazovaniya.* [Integral system of health-saving activity monitoring in education.] Rostov-on-Don: DSTU Publ. Centre, 2012, 282 p. (in Russian).

7. Pozharskaya, E.N. *Zdorovyesberegayushchaya pedagogika: uchebnoye posobiye dlya vuzov.* [Health-saving pedagogics: textbook for universities.] Rostov-on-Don: DSTU Publ. Centre, 2012, 479 p. (in Russian).

REGIONAL HEALTH-SAVING CENTRE IN EDUCATION

E. N. Pozharskaya
(Don State Technical University)

The development of "new technologies, mechanisms and regulations of monitoring and saving health of schoolchildren" is determined as one of the priority directions of the Russian education development in "Our new school" national educational strategy. The pilot project of the Ministry of General and Vocational Education of the Rostov Region is directed to creating a global health-saving educational space in the Rostov Region. The focal point of the pilot project is the Regional health-saving centre operation in the educational sphere of the Rostov Region. It is the first health-saving centre at the regional level in the Russian Federation. It acts as a coordinating centre for health-saving schools in the Rostov Region to solve a number of tasks: organization, monitoring, methodic, expert, information ones. Establishing the Regional health-saving centre in education propels the Rostov Region to the top in the sphere of the health-saving pedagogics.

Keywords: *health-saving educational system, integrated monitoring system of health-saving activity of educational institution, regional health-saving centre in education.*

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 378.662:82-96

Об информационном обеспечении регионального кадастра отходов в Ростовской области

Е. А. Концурова, С. Н. Холодова
(Донской государственный технический университет)

Рассмотрены перспективы введения и использования регионального кадастра отходов в Ростовской области. Приведены цели, задачи и преимущества регионального кадастра отходов. Сделан сравнительный анализ существующей на данный момент системы в сфере охраны окружающей среды Ростовской области и системы охраны окружающей среды Чехии. Выявлены плюсы и минусы информационного обеспечения в области отходов, предложены новые методы и решения для поставленной задачи.
Ключевые слова: *региональный кадастр отходов, защита окружающей среды, движение отходов.*

Введение. В соответствии со статьёй 20 Федерального закона от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 26.10.2000 № 818 «Порядок ведения государственного кадастра отходов и проведение паспортизации опасных отходов» территориальные органы федеральных органов исполнительной власти организуют и ведут государственный кадастр отходов. Однако такой кадастр в Ростовской области пока не ведётся [1].

Цель проведённых исследований — изучить возможности создания и введения регионального кадастра отходов применительно к г. Ростову и Ростовской области.

Создание регионального кадастра отходов Ростовской области.

Основными целями создания и ведения кадастра являются:

- обеспечение органов государственной власти области информацией, направленной на повышение эффективности деятельности в сфере обращения с отходами, и обеспечение экологической безопасности;
- обеспечение взаимодействия между юридическими лицами, осуществляющими деятельность в сфере обращения с отходами, и органами управления;
- обеспечение связи между производителями отходов и потенциальными переработчиками с целью создания рынка отходов, обладающих ресурсной ценностью, и производства продукции из вторичных сырьевых ресурсов.

Основные задачи, решаемые при ведении кадастра:

- сбор, накопление и систематизация данных в области обращения с отходами;
- оценка и анализ состояния деятельности в области обращения с отходами;
- выявление закономерностей при обращении с отходами для разработки природоохранных мероприятий и принятия управленческих решений;
- оценка эффективности управления деятельностью в области обращения с отходами;
- обеспечение информацией в области обращения с отходами органов государственной власти РФ и Ростовской области, юридических и физических лиц.

Вследствие строгой формализации кадастровых процедур их целесообразно автоматизировать посредством специализированного программного обеспечения. На основе анализа региональной специфики в части кадастра и кадрового потенциала исполнительных структур власти

была разработана методика автоматизированной реализации постановления Правительства Российской Федерации от 26.10.2000 № 818 в форме оригинального программного продукта [2].

Разработанный авторами программный продукт «Региональный кадастр отходов Ростовской области» предназначен для централизованного учёта движения отходов. Автоматизированная система кадастрового учёта позволяет вести пополнение, систематизацию сведений о происхождении, количестве, составе, свойствах, классе опасности отходов производства и потребления, условиях и конкретных объектах размещения отходов, технологиях их использования и обезвреживания на территории Ростовской области [3].

В системе имеется аналитический блок, позволяющий легко формировать отчёты по требуемым срезам данных (движение отходов по предприятию, по типам отходов, отходы по полигонам, отчёты по форме «2ТП-отходы» и т. д.).

Программный продукт «Региональный кадастр отходов Ростовской области» создан на основе технологии «клиент-сервер», представляет собой открытую систему и имеет стандартный многооконный интерфейс Windows, оптимизированный для ввода большого количества данных.

Прогрессивные средства реализации программного продукта обеспечивают:

- надёжную работу в сети;
- работу, в том числе, ввод и обработку данных, по медленным каналам связи и через Интернет (удалённый доступ);
- одновременную работу с базами данных любого числа пользователей;
- большое число выходных форм.

Программный продукт «Региональный кадастр отходов Ростовской области» имеет функции экспорта данных в Excel и другие широко используемые программы, что важно для дальнейшей графической обработки, формирования гибких и фиксированных отчётов, накопления, структурирования и систематизации.

Заключение. Внедрение разработки в деятельность региональных органов исполнительной власти позволит рационализировать все кадастровые процедуры. В результате улучшается связь между хозяйствующими субъектами и органами управления, исключаются задержки и сбои, связанные с человеческим фактором.

Библиографический список

1. Об отходах производства и потребления: федер. закон: [утв. Государственной думой и Советом Федерации 24 июня 1998 г.] // Информационно-правовое издание Legis. — 2011. — № 89. — С. 3—5.

2. Порядок ведения государственного кадастра отходов и проведение паспортизации опасных отходов: федер. закон: [утв. Правительством РФ 26 октября 2010 г.] // Информационно-правовой портал Гарант. — 2011. — № 818 — С. 10—37.

3. Информация о ведении регионального кадастра отходов [Электронный ресурс] / Комитет по охране окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области. — Режим доступа: http://www.doncomeco.ru/about/inform_baza/ (дата обращения: 11.05.2012).

Материал поступил в редакцию 14.06.2012.

References

1. *Ob otkhodakh proizvodstva i potrebleniya: federalnyy zakon*. [On production and consumption residuals: federal law: approved by State Duma and Federal Council, 24 June 1998.] Information-legal edition Legis, 2011, no. 89, pp. 3–5 (in Russian).

2. *Poryadok vedeniya gosudarstvennogo kadastra otkhodov i provedeniye pasportizatsii opasnykh otkhodov: federalnyy zakon*. [Procedure for State Waste Inventory and hazwaste certification:

federal law: approved by RF Government, 26 October 2010.] Information-legal portal Garant, 2011, no. 818, pp. 10–37 (in Russian).

3. Environment and Natural Resources Protection Committee of Rostov Region. *Informatsiya o vedenii regionalnogo kadastra otkhodov*. [Information on maintenance of regional waste.] Available at: http://www.doncomeco.ru/about/inform_baza/ (accessed 11.05.2012).

ON INFORMATION SUPPORT FOR WASTE INVENTORY IN ROSTOV REGION

E. A. Kontsurova, S. N. Kholodova
(Don State Technical University)

The introduction and working prospects of the waste inventory in the Rostov Region are considered. Objectives, tasks, and advantages of the regional waste inventory are presented. The comparative analysis of the current environmental protection system in Rostov Region and the environmental protection system in the Czech Republic is done. The information support pros and cons in the area of waste are identified. New techniques and solutions to the assigned problem are offered.
Keywords: *regional waste inventory, environmental protection, waste transportation.*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алфёров Александр Сергеевич,
alfa-8303@yandex.ru
младший научный сотрудник Северо-Кавказского научно-исследовательского института механизации и электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук.

Бердичевский Андрей Александрович,
ведущий инженер фирмы Deloitte Consulting GmbH.

Богуславский Игорь Владимирович,
доктор технических наук, профессор,
biv63@mail.ru
проректор Донского государственного технического университета по научно-исследовательской работе и инновационной деятельности.

Борисова Людмила Викторовна,
доктор технических наук, профессор
borisovalv09@mail.ru
заведующая кафедрой «Экономика и менеджмент в машиностроении» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.

Ватульян Александр Ованесович,
доктор физико-математических наук, профессор,
vatulyan@math.rsu.ru
профессор кафедры «Прикладная математика» Донского государственного технического университета.

Волков Сергей Сергеевич,
fenix_rsu@mail.ru
младший научный сотрудник НОЦ «Материалы» Донского государственного технического университета.

Гайджуров Пётр Павлович,
доктор технических наук, доцент,
gpp-161@yandex.ru
профессор кафедры «Машины и оборудование нефтегазового комплекса» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.

Глазунова Лейла Владимировна,
lejlaglazunova@yandex.ru
аспирантка кафедры «Сопротивление материалов» Донской государственный технический университет.

Гукасян Лусинэ Суреновна,
luska-90@list.ru
ассистент кафедры «Прикладная математика» Донского государственного технического университета.

Димитров Евгений Валерьевич,
kaf-qm@donstu.ru
младший научный сотрудник управления научных исследований Донского государственного технического университета.

Ершов Игорь Владимирович,
thijd@mail.ru
старший преподаватель кафедры «Физика» Донского государственного технического университета.

Заковоротный Вилор Лаврентьевич,
доктор технических наук, профессор,
vzakovorotny@dstu.edu.ru
заведующий кафедрой «Автоматизация производственных процессов» Донского государственного технического университета.

Изотов Михаил Александрович,
cimonyan.t@gmail.com
старший преподаватель кафедры «Управление и технологическое предпринимательство» Донского государственного технического университета.

Илясов Виктор Васильевич,
доктор технических наук, профессор,
viily@mail.ru
профессор кафедры «Физика» Донского государственного технического университета.

Исхакова Эльвира Рашидовна,
elvira.ishakova@yandex.ru
аспирантка кафедры «Строительство и архитектура» Южно-Российского государственного технического университета.

Кольган Мария Владимировна,
kolgan.m@ya.ru
младший научный сотрудник научно-исследовательского управления Донского государственного технического университета.

Концурова Елена Александровна,
kontzurova.elena@yandex.ru
магистрант кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета.

Месхи Бесарион Чохоевич,
доктор технических наук, профессор,
reception@donstu.ru
ректор, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета.

Муратов Денис Константинович,
mdk85@inbox.ru
старший преподаватель кафедры «Сельскохозяйственные машины и оборудование» Донского государственного технического университета.

Панфилова Эльвира Анатольевна,
korotkaya_elvira@mail.ru
ассистент кафедры «Транспортные системы и логистика», заместитель декана факультета «Авиастроение. Транспорт, сервис и эксплуатация» Донского государственного технического университета.

Паршин Дмитрий Яковлевич,
доктор технических наук, профессор,
d.parshin@mail.ru
профессор кафедры «Автоматизация и электропривод станочных систем» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.

Пахомов Виктор Иванович,
доктор технических наук,
старший научный сотрудник,
vniptim@gmail.ru
директор Северо-Кавказского научно-исследовательского института механизации и электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук.

Петрикин Андрей Александрович,
ведущий программист вычислительного центра Донского государственного технического университета.

Пожарская Елена Николаевна,
кандидат биологических наук, доцент,
pozharskaya25@rambler.ru
доцент кафедры «Социальная работа» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.

Пожарский Дмитрий Александрович,
доктор физико-математических наук,
профессор,
pozharda@rambler.ru
заведующий кафедрой «Прикладная математика» Донского государственного технического университета.

Поляков Анатолий Сергеевич,
polyakov.an.2009@gmail.com
аспирант кафедры «Прикладная математика» Донского государственного технического университета.

Рыжкин Анатолий Андреевич,
доктор технических наук, профессор,
a.ryzhkin_39@mail.ru
заведующий кафедрой «Инструментальное производство» Донского государственного технического университета.

Смоленский Анатолий Васильевич,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
mehkorm@yandex.ru
заведующий лабораторией «Механизация переработки кормов» Северо-Кавказского научно-исследовательского института механизации и электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук.

Соловьёв Аркадий Николаевич,
доктор физико-математических наук,
профессор,
soloviev@math.rsu.ru
заведующий кафедрой «Сопротивление материалов» Донского государственного технического университета.

Страхова Екатерина Николаевна,
ekaterinarom@mail.ru
младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела Ростовского филиала Российской таможенной академии.

Тугенгольд Андрей Кириллович,
доктор технических наук, профессор,
akt0@yandex.ru
профессор кафедры «Робототехника и мехатроника» Донского государственного технического университета.

Фам Динь Тунг,
кандидат технических наук,
phamdinhtung@mail.ru
докторант кафедры «Автоматизация производственных процессов» Донского государственного технического университета.

Фам Тху Хыонг,
hoa_lytrang2008@yahoo.com
аспирантка кафедры «Автоматизация производственных процессов» Донского государственного технического университета.

Холодова Светлана Николаевна,
кандидат технических наук, доцент,
svkholodova@gmail.com
доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета.

Шевчук Денис Геннадьевич,
hebeh@yandex.ru
аспирант кафедры «Автоматизация и электропривод станочных систем» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.

INDEX

Alferov, Alexander Sergeyevich,
alfa-8303@yandex.ru
junior research scholar, North Caucasian Research Institute of Agricultural Engineering and Electrification of Agriculture, Russian Academy of Agricultural Sciences.

Berdichevskiy, Andrey Alexandrovich,
senior engineer, Deloitte Consulting GmbH.

Boguslavskiy, Igor Vladimirovich,
PhD in Science, professor,
biv63@mail.ru
Vice-president for Research and Innovations, Don State Technical University.

Borisova, Lyudmila Victorovna,
PhD in Science, professor,
borisovalv09@mail.ru
head of the Engineering Economics and Management Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.

Dimitrov, Evgeny Valeryevich,
kaf-qm@donstu.ru
junior research scholar of the Scientific Research Department, Don State Technical University.

Gaydzhurov, Petr Pavlovich,
PhD in Science, associate professor,
gpp-161@yandex.ru
professor of the Oil and Gas Machinery and Equipment Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.

Glazunova, Leyla Vladimirovna,
lejlaglazunova@yandex.ru
postgraduate student of the Strength of Materials Department, Don State Technical University.

Gukasyan, Lusine Surenovna,
luska-90@list.ru
teaching assistant of the Applied Mathematics Department, Don State Technical University.

Ilyasov, Victor Vasilyevich,
PhD in Science, professor,
viily@mail.ru
professor of the Physics Department, Don State Technical University.

Iskhakova, Elvira Rashidovna,
elvira.ishakova@yandex.ru
postgraduate student of the Building and Architecture Department, South-Russian State Technical University.

Izotov, Mikhail Alexandrovich,
cimonyan.t@gmail.com
senior lecturer of the Management and Engineering Entrepreneurship Department, Don State Technical University.

Kholodova, Svetlana Nikolayevna,
Candidate of Science in Engineering,
associate professor,
svkholodova@gmail.com
associate professor of the Life and Environment Protection Sciences Department, Don State Technical University.

Kolgan, Maria Vladimirovna,
kolgan.m@ya.ru
junior research scholar of the Scientific Research Department, Don State Technical University.

Kontsurova, Elena Alexandrovna,
kontzurova.elena@yandex.ru
undergraduate of the Life and Environment Protection Sciences Department, Don State Technical University.

Meskhi, Besarion Chokhoyevich,
PhD in Science, professor,
reception@donstu.ru
Rector, head of the Life and Environment Protection Sciences Department, Don State Technical University.

Muratov, Denis Konstantinovich,
mdk85@inbox.ru
senior lecturer of the Agricultural Machinery and Equipment Department, Don State Technical University.

Pakhomov, Victor Ivanovich,
PhD in Science, senior research scholar,
vniptim@gmail.ru
director of the North Caucasian Research Institute of Agricultural Engineering and Electrification of Agriculture, Russian Academy of Agricultural Sciences.

Panfilova, Elvira Anatolyevna,
korotkaya_elvira@mail.ru
teaching assistant of the Transportation Systems and Logistics Department, associate dean of the Aircraft Engineering; Transport, Service and Operation Faculty, Don State Technical University.

Parshin, Dmitry Yakovlevich,
PhD in Science, professor,
d.parshin@mail.ru
professor of the Automation and Electrical Drive of Machine Systems Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.

Petrikin, Andrey Alexandrovich,
senior programmer of the IT Department, Don State Technical University.

Pham Dinh Tung,
Candidate of Science in Engineering,
phamdinhtung@mail.ru
postdoctoral student of the Production Automation Department, Don State Technical University.

Pham Thu Huong,
hoa_lytrang2008@yahoo.com
postgraduate student of the Production Automation Department, Don State Technical University.

Polyakov, Anatoly Sergeyevich,
polyakov.an.2009@gmail.com
postgraduate student of the Applied Mathematics Department, Don State Technical University.

Pozharskaya, Elena Nikolayevna,
Candidate of Science in Biology,
associate professor,
pozharskaya25@rambler.ru
associate professor of the Social Work Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.

Pozharskiy, Dmitry Alexandrovich,
PhD in Physics and Maths, professor,
pozharda@rambler.ru
head of the Applied Mathematics Department, Don State Technical University.

Ryzhkin, Anatoly Andreyevich,
PhD in Science, professor,
a.ryzhkin_39@mail.ru
head of the Tool Production Department, Don State Technical University.

Shevchuk, Denis Gennadyevich,
hebeh@yandex.ru
postgraduate student of the Automation and Electrical Drive of Machine Systems Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.

Smolenskiy, Anatoly Vasilyevich,
Candidate of Science in Engineering,
senior research scholar,
mehkorm@yandex.ru
head of the Feed Processing Mechanization Laboratory, North Caucasian Research Institute of Agricultural Engineering and Electrification of Agriculture, Russian Academy of Agricultural Sciences.

Solovyev, Arkady Nikolayevich,
PhD in Physics and Maths, professor,
soloviev@math.rsu.ru
head of the Strength of Materials Department, Don State Technical University.

Strakhova, Ekaterina Nikolayevna,
ekaterinarom@mail.ru
junior research scholar of the Scientific Research Department, Russian Customs Academy (Rostov Branch).

Tugengold, Andrey Kirillovich,
PhD in Science, professor,
akt0@yandex.ru
professor of the Robotics and Mechatronics Department, Don State Technical University.

Vatulyan, Alexander Ovanesovich,
PhD in Physics and Maths, professor,
vatulyan@math.rsu.ru
professor of the Applied Mathematics Department, Don State Technical University.

Volkov, Sergey Sergeyevich,
fenix_rsu@mail.ru
junior research scholar of the Research and Education Centre “Materials”, Don State Technical University.

Yershov, Igor Vladimirovich,
senior lecturer of the Physics Department, Don State Technical University.
thijd@mail.ru
Zakovorotniy, Vilor Lavrentyevich,
PhD in Science, professor,
head of the Production Automation Department, Don State Technical University.
vzakovorotny@dstu.edu.ru

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

1. Электронный вариант статьи представляется в редакцию журнала через интернет-сайт http://vestnik.donstu.ru. Следует зарегистрировать себя на сайте как автора (если ещё не зарегистрированы) и затем зарегистрировать публикацию. Зарегистрированные авторы загружают статьи в базу данных журнала самостоятельно и в дальнейшем отслеживают состояние своих рукописей. Файл с текстом статьи должен иметь формат DOC или DOCX. Разметка страницы: поля со всех сторон 2 см, ориентация книжная, формат А4. Текст набирается шрифтом Times New Roman, размер (кегль) 14, абзацный отступ 1,25 см, межстрочный интервал полуторный с использованием автоматической расстановки переносов.

2. В начале статьи в левом верхнем углу ставится индекс УДК. Далее сведения идут в таком порядке: название статьи; инициалы и фамилии авторов (не более 4), место работы; аннотация (от 100 до 250 слов); ключевые слова (до 15 слов). После текста самой статьи располагают библиографический список, сведения об авторах и дополнительные сведения на английском языке, которые включают в себя название статьи, Ф. И. О. авторов, аннотацию, ключевые слова, сведения об авторах.

3. Статья должна предусматривать разделы: введение (постановку задачи), основную часть (подзаголовки), выводы или заключение.

4. Объём статьи не должен превышать 16 страниц, включая библиографический список и иллюстрации (до 5 рисунков или фотографий); обзора — 25 страниц, 10 рисунков; краткого сообщения — 3 страниц, 2 рисунков.

5. Каждый рисунок должен иметь подпись. Каждая таблица должна иметь заголовок. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Equation или MathType.

6. Размерность физических величин, используемых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц (СИ). Не следует употреблять сокращённых слов, кроме общепринятых (*т. е.*, *и т. д.*, *и т. п.*). Буквы латинского алфавита, обозначающие физические величины, набирают курсивом; буквы греческого алфавита и готического (немецкого) — в прямом начертании.

7. Редколлегия оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

8. Статьи, не отвечающие правилам оформления, к рассмотрению не принимаются. Датой поступления считается день получения редколлегией окончательного текста статьи.

9. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Более подробно с правилами оформления следует ознакомиться на сайте журнала «Вестник ДГТУ» по адресу: http://vestnik.donstu.ru.